

ТОМ 1

МОЛОДЁЖЬ И НАУКА

Материалы VII Всероссийской
научно-технической конференции студентов,
аспирантов и молодых ученых, посвященной
50-летию первого полета человека в космос

МОЛОДЁЖЬ И НАУКА

Том 1

- Информатика
- Современные проблемы математики и компьютерных наук
- Современные проблемы биологии — успехи научной молодежи
- Геология и горное дело
- Физика твердого тела
- Вопросы современного естествознания
- Актуальные проблемы биофизики

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

МОЛОДЁЖЬ И НАУКА

**Материалы VII Всероссийской
научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых,
посвященной 50-летию первого полета человека в космос
г. Красноярск, 19-25 апреля 2011 г.**

Том 1

Красноярск
СФУ
2011

УДК 001.891(063)

ББК 72я431

М 57

М 57 Молодёжь и наука: в 3 т.: материалы конф. Т.1 / отв. за выпуск О.А. Краев. – Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – 221 с.

ISBN 978-5-7638-2328-8

ISBN 978-5-7638-2329-5 (Т. 1)

Проект поддержан за счёт средств, предоставленных путём выделения целевого финансирования Краевым государственным автономным учреждением «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности».

УДК 001.891(063)

ББК 72я431

ISBN 978-5-7638-2328-8

ISBN 978-5-7638-2329-5 (Т. 1)

© Сибирский
федеральный
университет, 2011

СОДЕРЖАНИЕ

ИНФОРМАТИКА.....	8
<i>Денкс К.А.</i> МЕТОД ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ОБУЧЕНИЯ СТУ- ДЕНТА В СИСТЕМЕ ЗАЧЁТНЫХ ЕДИНИЦ.....	8
<i>Загайнова С.С.</i> РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕС- КИХ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ.....	10
<i>Кадочникова М.А.</i> КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САЙТОВ ЗАПОВЕДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬ- НО-СИБИРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА	16
<i>Ковалева А.П.</i> АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ.....	20
<i>Котович А.В., Комаров Д.С.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОТОВНОСТИ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ К ИС- ПЫТАНИЯМ.....	23
<i>Старовойтов А.В., Тутатчиков В.С., Киселёв О.И.</i> МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ДВУМЕРНОГО БПФ ПО АНАЛОГУ КУЛИ-ТЬЮКИ.....	27
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕР- НЫХ НАУК.....	30
<i>Ахмедова Ш.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ "СТАЙНОГО" АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ.....	30
<i>Яковлев А.А.</i> О ЗАДАЧЕ КОШИ ОДНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ.....	35
<i>Спирина А.В.</i> РАЗРАБОТКА МЕТАПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭЛЕКТРОННЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ БИБЛИОТЕЧНЫМ РЕСУРСАМ	36
<i>Бурмак В.И.</i> СИММЕТРИИ И ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОС- ТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ	41
<i>Заикина В.Н.</i> ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	47
<i>Нифонтов А.С., Олейников Б.В.</i> ВИЗУАЛИЗАЦИЯ. ВИЗУАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕН- НОМ ПРОГРАММИРОВАНИИ	50
<i>Волков В.С.</i> ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРО- ЦЕССОРАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ.....	52

<i>Панов С.В.</i> ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПОЛЕВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ РАНГА 3 НАД ПОЛЕМ ПРОСТОГО ПОРЯДКА	56
<i>Прамзина В.О.</i> ВОПРОС О ПОДГРУППЕ КОЛЛИНЕАЦИЙ ПОЛУПОЛЕВОЙ ПЛОС- КОСТИ, ИЗОМОРФНОЙ A_4	58
<i>Комарова О.А.</i> ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ЭВЕНТОЛОГИИ	60
<i>Форст О.С.</i> РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПАНИИ С ОПТИМАЛЬ- НОЙ РЫНОЧНОЙ СТРАТЕГИЕЙ	63
<i>Кочанова Ю.С.</i> О ЗАДАЧЕ РАЗМЕЩЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ.....	67
<i>Романенко Г.В.</i> О ПРЕДСТАВЛЕНИИ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МНОГОМЕРНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ.....	69
<i>Дементьева Е.В.</i> ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О ГРАНИЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ	73
<i>Лемешкова Е.Н.</i> АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ СОПРЯЖЕННОЙ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ	75
<i>Кригер Е.Н.</i> О ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА СПЕЦИАЛЬ- НОГО ВИДА В ДВУМЕРНОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОМ УРАВНЕНИИ.....	79
<i>Атургашева К.Ю.</i> ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ БЕСКО- НЕЧНОГО ПОЛОГО ЦИЛИНДРА В НАПРЯЖЕНИЯХ	84
<i>Шапкова Н.А.</i> ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ НЕЛИНЕЙ- НОМ ЧЛЕНЕ И ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА В СИСТЕМЕ СОСТАВНОГО ТИПА	88
<i>Семенкина О.Е.</i> О СРАВНЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУРАВЬИНОГО И ГЕНЕТИЧЕС- КОГО АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ	89
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ – УСПЕХИ НАУЧ- НОЙ МОЛОДЕЖИ.....	92
<i>Козлова Е.В.</i> СОХРАНЕНИЕ ЭФФЕКТА ВЛИЯНИЯ ГЕРБИЦИДОВ НА ФОРМИРО- ВАНИЕ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПОСЛЕ- ДУЮЩЕМ ПОКОЛЕНИИ.....	92
<i>Темерова В.Л.</i> ОСОБЕННОСТИ МЕСТ ОБИТАНИЯ И ЭКОЛОГИИ <i>MOTACILLA CI- TREOLA</i> RALL. НА ЮГЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ.....	95

<i>Сычева Е.В., Квитко О.В.</i> АНАЛИЗ КАРИОТИПА ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА (<i>LARIX GMELINI</i>)	97
<i>Кузьмина А.М., Горева А.В.</i> РЕЗОРБИРУЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ В КАЧЕСТВЕ МАТРИКСА ДЛЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОС- ТАВКИ ЦИТОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА <i>IN VIVO</i>	101
<i>Мамаева Е.С.</i> МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОАЛМАЗЫ ВЗРЫВНОГО СИНТЕЗА В КОНСТРУИРОВАНИИ СИСТЕМ БИОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ МНОГОРАЗОВОГО ДЕЙСТВИЯ (НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕ- ЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ)	106
<i>Безруких А.Е.</i> ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ В ЖЕЛАТИНОВЫЙ ГЕЛЬ ФЕРМЕНТЫ СВЕЯЩИХСЯ ОРГАНИЗМОВ КАК ОСНОВА РЕАГЕНТОВ ДЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА	108
<i>Зайцева Н.А.</i> НАРУШЕНИЕ ВТОРОГО ПРАВИЛА ЧАРГАФФА У МИТОХОНДРИ- АЛЬНЫХ ГЕНОМОВ И ЕГО СВЯЗЬ С ТАКСОНОМИЕЙ НОСИТЕЛЯ	113
<i>Нефедова О.В.</i> БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИЙ <i>STACHYS SYLVA- TICA</i> , ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ГОРАХ ЮЖНОЙ СИБИРИ	117
<i>Петров И.А.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕРЕВЬ- ЕВ ВИДА <i>ABIESSIBIRICALE</i> DEB. НА ЮГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ	121
<i>Семёнова Е.М.</i> ЗООБЕНТОС СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ КАК ОБЪЕКТ КОРМОВОЙ БАЗЫ ХАРИУСА СИБИРСКОГО (<i>THYMALLUS ARCTI- CUS</i> , PALLAS)	126
<i>Петухова А.В., Зыкова У.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГЕТЕРОЗИ- ГОТНОГО СОСТОЯНИЯ ГЕНОВ КОАГУЛЯЦИОННОГО ФАКТОРА V И ПРОТРОМБИНА	129
<i>Борисов А.А.</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДГЕЗИИ И РОСТА ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ КЛЕТОК НА КЛЕТОЧНЫХ МАТРИКСАХ	133
<i>Копылевич Н.В.</i> БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОПЛАСТОТАНА КАК МАТРИК- СА НА РОСТ КЛЕТОК	134
<i>Сырвачева Д.А.</i> МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПО- КОЛЕНИЯ – ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ (ПГА)	135
<i>Ковель Е.С., Коротченко И.С.</i> ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ДЕТОКСИКАНТОВ НА МОР- КОВЬ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД	137

<i>Александров Д.Е.</i> ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БАЗИДИОМИЦЕТОВ о. ТА- ТЫШЕВ	142
<i>Коростелева Н.С., Аверьянов А.Б., Новикова Т.В., Пашкова Д.Н.</i> ИНФЕКЦИИ КОЖИ И МЯГКИХ ТКАНЕЙ – МИКРОБИОЛОГИЧЕ- СКИЕ АСПЕКТЫ	145
<i>Шендрик М.А.</i> СОЗДАНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ ФОРМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПА- РАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА	148
<i>Ларионова М.Д.</i> СОЗДАНИЕ ЭКСПРЕССИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЭФФЕК- ТИВНОГО БИОТИНИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ <i>IN VIVO</i> ПРИ ЭКС- ПРЕССИИ В <i>E. coli</i>	149
ГЕОЛОГИЯ И ГОРНОЕ ДЕЛО	151
<i>Зубенко В.В.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КУСКА ПОРОДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОТОРНЫМ ЭКСКАВАТОРОМ	151
<i>Даниленко Д.А.</i> ВЫБОР И РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОД- ГОТОВИТЕЛЬНЫХ ШТРЕКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛА- СТОВ ТОНКИХ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ.....	153
<i>Фромиллер Л.В.</i> РАСКОНСЕРВАЦИЯ И ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕР- ТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ ПРИАРГУНСКОГО ПГХО.....	156
<i>Загороднев М.С.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШПУРОВОЙ ОТБОЙКИ В УСЛО- ВИЯХ РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ» ЗФ ОАО ГМК «НОРНИКЕЛЬ»	158
<i>Карелин А.Е.</i> СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШПУРОВОЙ ОТБОЙКИ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «ТАЙМЫРСКИЙ».....	161
<i>Патачаков И.В.</i> МУФТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ.....	164
<i>Потехин А.В., Бочегов С.В.</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН	169
<i>Сураев В.А.</i> РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ РУДНИКОВ НО- РИЛЬСКОГО ПРОМРАЙОНА.....	173
<i>Высотина А.А.</i> ДЕПЛАНАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ	176
<i>Кондратенко М.А.</i> ИЗЫСКАНИЯ ПО СЕЛЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУК- ТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ	180

<i>Слизункова В.В.</i>	
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЛУБОКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ.....	182
<i>Смирнова М.Е., Татаренко А.Ю.</i>	
РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В СТРЕЛЕ ДРАГЛАЙНА С ПОМОЩЬЮ ПРИНЦИПА ДАЛАМБЕРА.....	185
ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА.....	189
<i>Михиенкова Е.И.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ СУЛЬФИДОВ $Mn_{1-x}Fe_xS$	189
<i>Калякин Д.С.</i>	
ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ СОРБЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА НА МОДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ h-BN	194
<i>Осетров Е.И.</i>	
ФЕРРОСФЕРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОЛ – КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	198
ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ	205
<i>Красовский В.С.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	205
<i>Косогов Е.Е.</i>	
ЧЕРНАЯ ДЫРА	208
<i>Трифонов С.В.</i>	
СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН.....	210
АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ	212
<i>Высотин А.И., Ермолин А.В.</i>	
ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИОГЕННЫХ И СВЧ-ТЕХНОЛОГИЙ	212
<i>Сотанин С. В.</i>	
ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОРТИРОВКИ.....	215

ИНФОРМАТИКА

УДК 378.14

МЕТОД ПОИСКА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАЕКТОРИИ ОБУЧЕНИЯ СТУДЕНТА В СИСТЕМЕ ЗАЧЁТНЫХ ЕДИНИЦ

К.А. Денкс

Научный руководитель Ю.Ю. Якунин
Сибирский федеральный университет

Согласно европейским стандартам образования каждый студент имеет возможность выбирать предметы по своему желанию и по своим предпочтениям. Министерство образования и науки РФ также переходит к болонской системе образования. Таким образом, в сентябре 2003 года Россия присоединилась к Болонскому процессу, подписав Болонскую декларацию. Это процесс объединения всех стран Европы для создания единого европейского пространства высшего образования. В эту основную цель входят такие цели, как облегчение трудоустройства выпускников за рубежом, повышение престижа в мире европейской высшей школы, повышение развития культурных ценностей в Европе и т.д. Для обеспечения указанных целей в вузах внедряется система зачетных единиц – форма организации учебного процесса, способствующая развитию академической мобильности студентов. Данная система также подразумевает и единый способ оценивания знаний студентов, который при получении диплома и дальнейшем трудоустройстве за границей облегчит этот процесс. Одним из важнейших достоинств системы зачетных единиц является возможность обеспечения студентам выбора дисциплин для изучения и преподавателей для чтения выбранных дисциплин.

В данной работе предлагается метод нахождения оптимальной для студента траектории обучения (последовательности изучения дисциплин) в соответствии с его потребностями и желаниями в получении определённых профессиональных компетенций и в соответствии с ограничениями, налагаемыми учебным планом и основной образовательной программой. В основной образовательной программе и в рабочих программах дисциплин определены соответствия дисциплин и осваиваемых в них компетенций. Пожелания студента определяются рангом компетенций, которые студент ранжирует по своему усмотрению и в соответствии с собственными целями. Для ранжирования сту-

денту предлагается два варианта: 1) расставить приоритеты для каждой компетенции; 2) выполнить попарное сравнение компетенций. Для каждой компетенции в ранге вычисляется её вес, определённый на множестве $[0,1]$, причем сумма весов компетенций равняется 1. Таким образом, K^* – вектор желаемых компетенций и K_n – генерируемый вектор, где n – порядковый номер вектора.

На основе данных в рабочих программах дисциплин генерируется множество возможных векторов траекторий обучения с учетом ограничений, налагаемых основной образовательной программой и учебным планом, и на этом синтезируются ранжирования компетенций K_l (1), соответствующие векторам траекторий обучения.

$$K_i = \begin{pmatrix} k_{i1} \\ \vdots \\ k_{in} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Для поиска траектории обучения наиболее близкой к заданному студентом рангу используется аппарат бинарных отношений, который позволяет определить меру близости двух векторов в порядковых шкалах.

Определим для каждого вектора компетенций метризованную матрицу P (2), состоящую из элементов, определённых в выражении (3):

$$P = \begin{pmatrix} 0 & \omega_{12} & \cdots & \omega_{1n} \\ \omega_{21} & 0 & \cdots & \omega_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{n1} & \omega_{n2} & \cdots & 0 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\widehat{p}_{ij} = \begin{cases} \omega_{ij}, (a_i, a_j) \in P, (a_j, a_i) \notin P \\ -\omega_{ij}, (a_i, a_j) \notin P, (a_j, a_i) \in P \\ 0, (a_i, a_j) \in P, (a_j, a_i) \in P \\ \theta, (a_i, a_j) \notin P, (a_j, a_i) \notin P \end{cases} \quad (3)$$

где ω_{ij} – некоторое число, показывающее, во сколько раз объект a_i лучше объекта a_j .

$$\omega_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j},$$

где ω_i – вес i -й компетенции, ω_j – вес j -й компетенции.

Для поиска вектора компетенций, наиболее соответствующего вектору, заданному студентом, необходимо вычислить меру близости $d(\widehat{P}^*, \widehat{P}_l)$ между этим вектором и каждым из векторов, соответствующих сгенерированным траекториям обучения. Мера близости рассчитывается по формулам (4) и (4*):

$$d(\hat{P}^*, \hat{P}_l) = \sum_{i < j} d_{ij}(\hat{P}^*, \hat{P}_l), \quad (4)$$

где

$$d_{ij}(\hat{P}^*, \hat{P}_l) = \begin{cases} |\hat{p}_{ij}^* - \hat{p}_{ij}^l|, & \text{если } \hat{p}_{ij}^* \neq \theta, \hat{p}_{ij}^l \neq \theta, \\ 0, & \text{если } \hat{p}_{ij}^* = \hat{p}_{ij}^l = \theta, \\ \omega & \text{— в противном случае.} \end{cases} \quad (4^*)$$

Вектор компетенций и соответствующая ему траектория обучения, обеспечивающие наименьшую меру близости с вектором, заданным студентом, и будут являться искомыми величинами.

Траектория обучения может выбираться студентом несколько раз в течение всего времени обучения. Так происходит корректировка траектории при изменении потребностей студента или внешних факторов, которые могут выражаться, например, сменой лектора или изменением учебных планов.

Такая гибкость учебного процесса позволит студентам ориентироваться на тенденции рынка труда и наполнять свой архив знаний соответствующими компетенциями. Этот подход, очевидно, имеет существенные преимущества относительно традиционного, когда студент мог выбрать специальность только один раз и пять лет учиться по соответствующему ей учебному плану. Существующие возможности перехода на индивидуальные планы обучения или вообще на другие специальности сопровождались значительными затруднениями и использовались только единицами, когда основная масса студентов обучалась по общепринятым нормам.

Разработанный метод является частью системы поддержки принятия решений, разрабатываемой для тьюторов, регулирующих индивидуальные направления обучения студентов в системе зачётных единиц.

УДК 519.674

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ГЕНЕРАЛИЗАЦИИ ТОПОГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

С.С. Загайнова

Научный руководитель А.В. Картушинский*, А.В. Ходяев**

*Сибирский федеральный университет;

**ООО «РН-КрасноярскНИПИнефть»

Введение

Топогеодезические данные сейсморазведки – это положение пунктов возбуждений и приема сигнала в пространстве. Эти данные используют

для анализа изученности сейсморазведкой территории и при проектировании новых сейсмических исследований. Планово-высотные данные применяются для привязки аппаратных измерений к местности. Основная обработка таких данных проводится с использованием геоинформационных систем (ГИС).

Геоинформационные системы могут передавать информацию по сети Интернет. Пользователи удаленно получают данные различного формата (изображения, текстовую информацию и т.д.). Топологические данные сейсморазведки представляют собой огромный массив информации. В условиях низкой скорости передачи данных, в сравнении с настольными ГИС, встает задача сокращения объема выводимых данных без потери их информативности. Для решения этой задачи существуют алгоритмы генерализации данных или обобщения позиционных данных о пространственных объектах.

Существующие алгоритмы генерализации

В литературе представлено несколько алгоритмов генерализации данных. Наиболее распространенными являются алгоритмы таких авторов, как Dettori и Falcidieno, Douglas и Peucker, а также Barbara P. Buttenfield.

Эти алгоритмы используют механизм управления количеством точек, основанный на значении допустимой ошибки. Применяют числовой параметр, который определяет ширину порога. Точки, попавшие в диапазон порога, удаляются. Если параметр будет слишком велик, то в процессе обработки данных могут быть удалены критические точки, а это означает, что геометрия пространственных объектов (сейсмических съемок) будет изменена.

Hoffman и Richards предложили, что линии должны быть сегментированы в пунктах минимального искривления. Другими словами, пункты минимального искривления – критические точки.

Основным требованием к процедуре генерализации пространственных объектов сейсмических съемок является сохранение критических точек – точек излома (перегиба линии). Алгоритмы Dettori и Falcidieno, Douglas и Peucker, Barbara P. Buttenfield не выполняют данное требование.

Для доказательства рассмотрим наиболее часто используемый в ГИС алгоритм Douglas и Peucker.

По алгоритму Douglas и Peucker пользователь вводит значение допустимой ошибки ε , соединятся первая и последняя точка прямой, в обе стороны от этой прямой строится коридор, ширина которого равна допустимой ошибке ε . Затем сравнивается расстояние от каждой точки до прямой с введенным значением ошибки ε :

- если расстояние от точки до прямой больше, чем допустимая ошибка ε , то точка остается;

– если расстояние от точки до прямой меньше, чем допустимая ошибка ε , то точка удаляется.

Другими словами, те точки, которые попали в коридор, удаляются, а те, которые оказались за его пределами, сохраняются.

На рис. 1 представлен пример генерализации линии по алгоритму Douglas и Peucker.

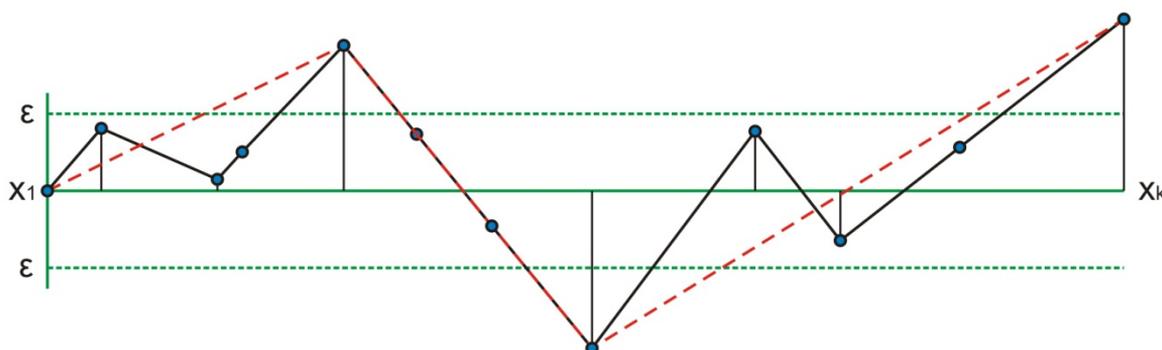


Рис. 1. Генерализация линии по алгоритму Douglas и Peucker

Алгоритм Douglas и Peucker не учитывает важность критических точек в картографии. Данные после обработки по этому алгоритму недостаточно сохраняют информативность, не все критические точки отображены для графического представления, ввиду чего геометрия линии искажена и недостаточно точна.

Важным условием алгоритма генерализации данных служит сохранение информативности.

Необходима разработка алгоритма, способного выполнять генерализацию пространственных объектов без потери критических точек.

Разработка алгоритма

Предложенный алгоритм генерализации данных включает в себя три этапа:

1. Расчет расстояний между точками.
2. Сравнение расстояний с радиусом окружности, построенной вокруг каждой точки (значение радиуса окружности задается пользователем).
3. Обнаружение и восстановление критических точек.

Расчет расстояний между точками осуществляется по теореме Пифагора. Затем строится окружность радиусом R вокруг каждой точки. Радиус R равен желаемому расстоянию между точками для отображения. Точки, попавшие в окружность, удаляются.

Радиус окружности R – это параметр, от которого зависит, на каком расстоянии друг от друга будут отображаться точки. В сейсморазведке расстояния между точками взрыва и приема колебаний могут различаться.

На рис. 2 показано, как при помощи окружности радиусом R сокращается количество выводимых в ГИС данных.

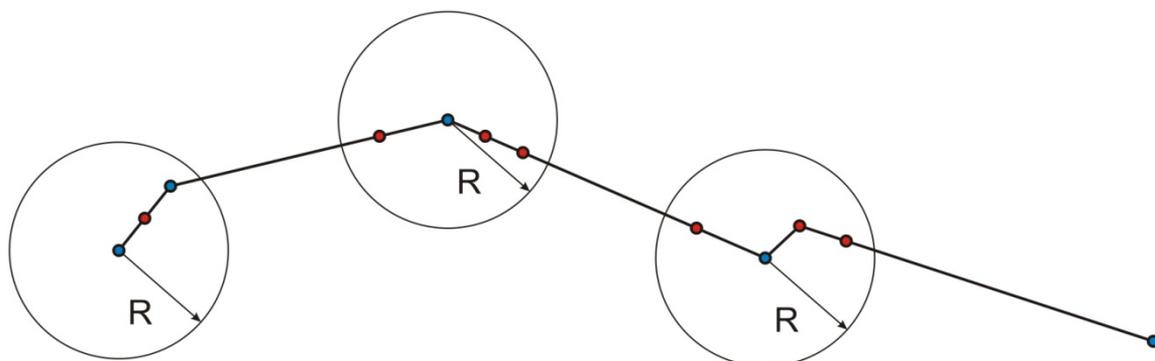


Рис. 2. Удаление точек, попавших в радиус окружности

Во время удаления точек, попавших в радиус окружности, также удаляются и критические точки – точки перегиба линии. После этого геометрия линии меняется (рис. 3, 4). Такая форма сейсмического профиля не может быть использована для дальнейшей работы.

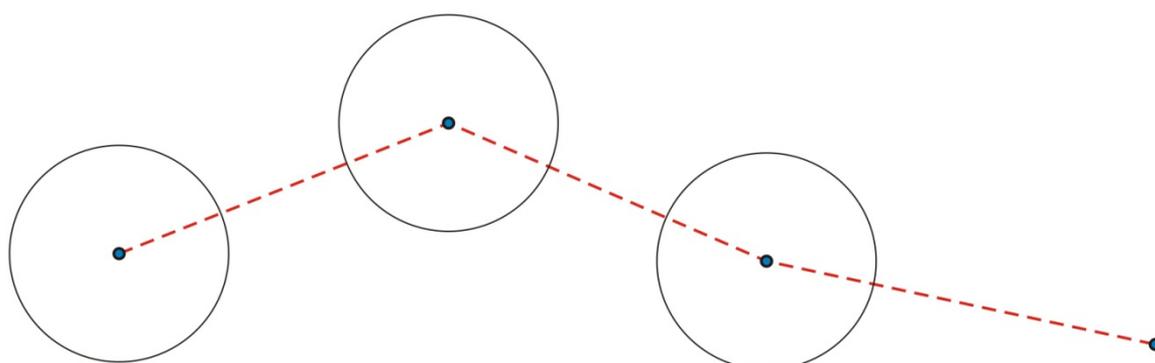


Рис. 3. Форма линии после удаления критических точек

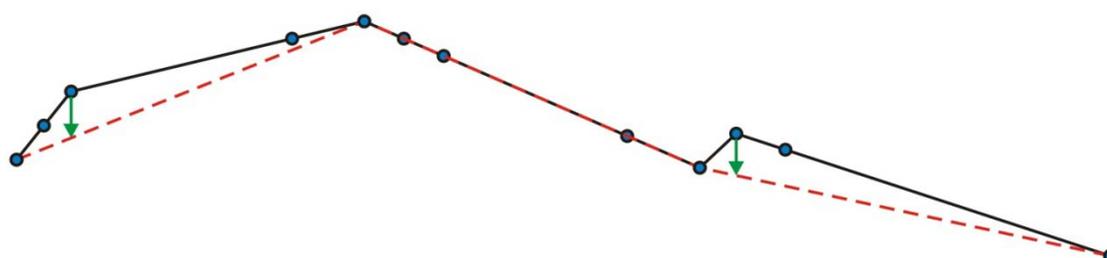


Рис. 4. Начальная и измененная геометрия линии

Далее происходит восстановление критических точек линии. Процедура восстановления использует разницу углов текущего и предыдущего сегментов в качестве критерия определения точек перегиба. Восстановленная геометрия линии содержит меньшее количество точек (рис. 5).

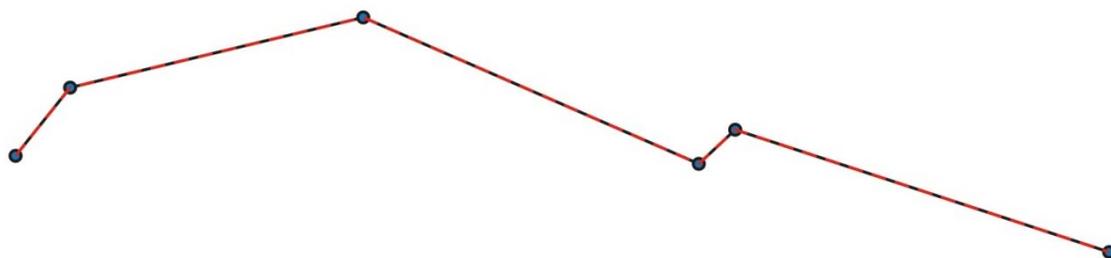


Рис. 5. Геометрия линии после генерализации

Пользователь может задавать значение угла. Если необходимо, чтобы графическое представление данных было более информативно, оптимальным значением угла считается 0.01° . Если не требуется высокой информативности, тогда оптимальным считается значение угла 0.1° .

Оценка эффективности алгоритма

Для определения эффективности алгоритма проведен асимптотический эксперимент, а также эксперимент по использованию процессорного времени. Для сравнения взят алгоритм Douglas и Peucker.

Реальное время выполнения каждого отдельного шага зависит от конкретного вычислительного устройства.

В табл. 1 приведен перечень операций для предложенного алгоритма и для алгоритма Douglas и Peucker.

Таблица 1. Перечень операций алгоритма

Предложенный алгоритм	Алгоритм Douglas и Peucker
<ol style="list-style-type: none"> 1. Вводится радиус окружности R. 2. Расчет расстояния между точками l. 3. Сравнение R и l: <ul style="list-style-type: none"> – если $R < l$, точка остается; – если $R > l$, точка удаляется. 4. Построение прямой между первой и третьей точками: <ul style="list-style-type: none"> – если вторая точка лежит на прямой, то она удаляется; – если вторая точка не лежит на прямой, тогда она является критической 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вводится допустимая ошибка ε. 2. Построение коридора. 3. Соединение прямой линией точек x_1 и x_n. 4. Расчет расстояния l от точки x_i до прямой между точками x_1 и x_n. 5. Сравнение ε и l: <ul style="list-style-type: none"> – если $l < \varepsilon$, точка удаляется; – если $l > \varepsilon$, точка остается

Количество операций алгоритма Douglas и Peucker представлено выражением (1), а количество операций предложенного алгоритма генерализации – выражением (2):

$$K = 1 + 1 + 1 + i + i = 2i + 3 \quad (1)$$

$$K = 1 + (i - 1) + (i - n) + (i - 2) = 3i - 2 - n \quad (2)$$

где K – количество операций; i – количество точек; n – количество исключенных точек.

В ходе асимптотического эксперимента установлено, что на выполнение предложенного алгоритма требуется $3i - 2 - n$ операций, а на выполнение алгоритма Douglas и Peucker – $2i + 3$ операций.

Давая оценку быстродействия алгоритма, следует рассмотреть поведение вычислительного процесса в среднем и отдельно – в экстремальных для него условиях, то есть в худшем случае.

В худшем случае количество операций в предложенном алгоритме равно $3i - 2$, в алгоритме Douglas и Peucker – $2i + 3$.

В табл. 2 приведены данные процессорного времени, затраченного на каждый алгоритм при различных наборах данных. В качестве исходных данных использовали три ломаные линии, состоящие из 10, 50 и 100 точек. При расчете времени предложенного алгоритма использовали три значения радиуса: 3, 13 и 30 м. Значения для R и ε выбирали таким образом, чтобы количество точек линий после генерализации было идентичным.

Таблица 2. Затраченное процессорное время

	Предложенный алгоритм			Алгоритм Douglas и Peucker		
Количество точек линии: 10						
	R			ε		
	3	13	30	0.5	4	6
t , мс	31	16	15	46	31	20
Количество точек линии: 50						
	R			ε		
	3	13	30	9.5	79	91
t , мс	94	63	47	118	85	62
Количество точек линии: 100						
	R			ε		
	3	13	30	25	165	196
t , мс	172	94	62	206	114	78

Выводы

Большинство алгоритмов не учитывают важность критических точек при обработке топогеодезических данных сейсморазведки. Геометрические данные после генерализации недостаточно сохраняют требуемую информативность. Предложенный алгоритм генерализации учитывает критические точки линий сейсмических съемок, имеет меньшее количество опе-

раций по сравнению с другими алгоритмами и затрачивает меньшее количество процессорного времени.

УДК 004.4:528.9

КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САЙТОВ ЗАПОВЕДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-СИБИРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

М.А. Кадочникова

Научный руководитель А.А. Гостева

Сибирский федеральный университет

В настоящее время (начало 2011 г.) в России действует 101 государственный природный заповедник общей площадью около 33,711 млн га, что составляет 1,59 % от территории России, во всех природных зонах, от полярных пустынь до субтропиков, в 70 субъектах Российской Федерации [1].

Природные заповедники – природоохранные организации, основной задачей которых считается сохранение природы на территории заповедника в ее естественном виде и изучение естественного хода природных процессов и явлений, генетического фонда растительного и животного мира, отдельных видов и сообществ растений и животных, типичных и уникальных экологических систем. Один из важнейших элементов системы обеспечения экологической безопасности – высокий уровень общественного экологического сознания, базирующийся на полной и достоверной информации о состоянии окружающей природной среды и основных принципах рационального природопользования.

Обмен оперативной и достоверной информацией в области окружающей природной среды на сегодняшний день явно недостаточен и требует поиска новых эффективных механизмов сотрудничества. Данный вывод был получен при детальном анализе доступных источников, таких как первоисточники (книги, журналы) и всемирной сети Интернет.

В печатных изданиях информация датирована прошлым веком (1988-2000 гг.), а в журналах можно найти только краткое описание какого-либо явления или представителя флоры и фауны.

В глобальной сети существуют два крупных сайта, посвященных заповедникам России: «Особо охраняемые природные территории России» [1] и «Все заповедники России и мира» [2]; также общую информацию можно получить из «Свободной энциклопедии Википедия» [3]. Результаты мониторинга электронных ресурсов сети Интернет представлены на рис. 1.

Процентное соотношение доступной информации о заповедниках в сети Интернет

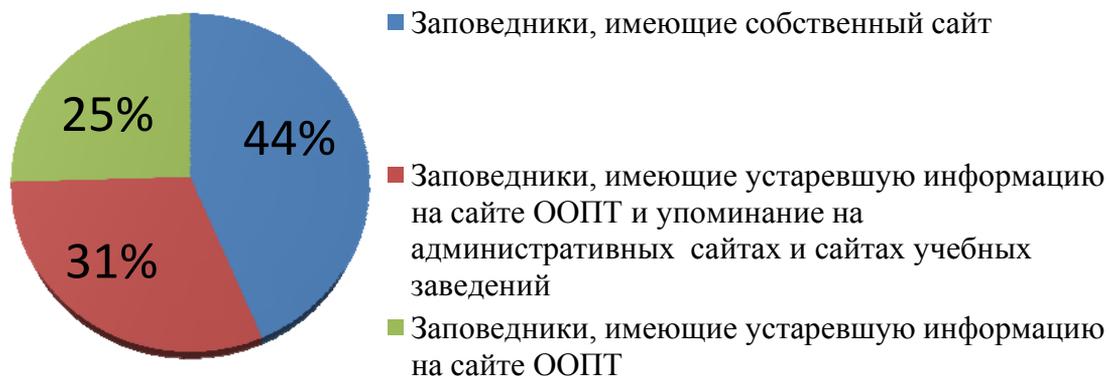


Рис. 1. Процентное соотношение доступной информации о заповедниках в сети Интернет (по данным на начало 2011 г.)

Низкий уровень обеспечения населения оперативными и достоверными сведениями о состоянии окружающей природной среды, мерах по сохранению и улучшению её состояния связан, прежде всего, со смещением в шкале жизненно важных приоритетов населения и тем самым снижением интереса со стороны средств массовой информации. Наряду с социальной проблемой существуют также проблемы, связанные с отсутствием отвечающей сегодняшним условиям информационной политики в области охраны окружающей среды и природопользования, а также с нескоординированностью усилий различных министерств и ведомств, располагающих экологической информацией. Немаловажны в этой связи малочисленность и слабая техническая оснащённость большинства организационных структур территориальных природоохранных органов призванных обеспечить эту работу [4].

Оптимальным и бюджетным вариантом стал переход от передачи и хранения информации на бумажных носителях к современным электронным способам, существенно снижающим материальные затраты, повышающим оперативность и позволяющим вести аналитическую обработку информации.

В связи с развитием сети Интернет самым доступным способом размещения и обновления электронной информации о заповедных территориях является создание Интернет-сайтов этих территорий. Основываясь на анализе имеющихся в свободном доступе ресурсов Интернета по заповедным территориям, в своей научной работе хочу предложить, на примере Центрально-Сибирского заповедника, обновленную информационно-картографическую базу и структуру сайтов заповедных территорий:

- сбор и размещение общей информации о заповеднике (описание заповедника, физико-географические условия, растительный и животный мир, научные исследования, экотуризм);

- создание мультимедийной интерактивной галереи (фотографии флоры и фауны, сюжетная съемка, видеоматериалы и анимация природных процессов; возможность просмотра в заданном порядке, построения различных тематических переходов);
- создание картографической базы.

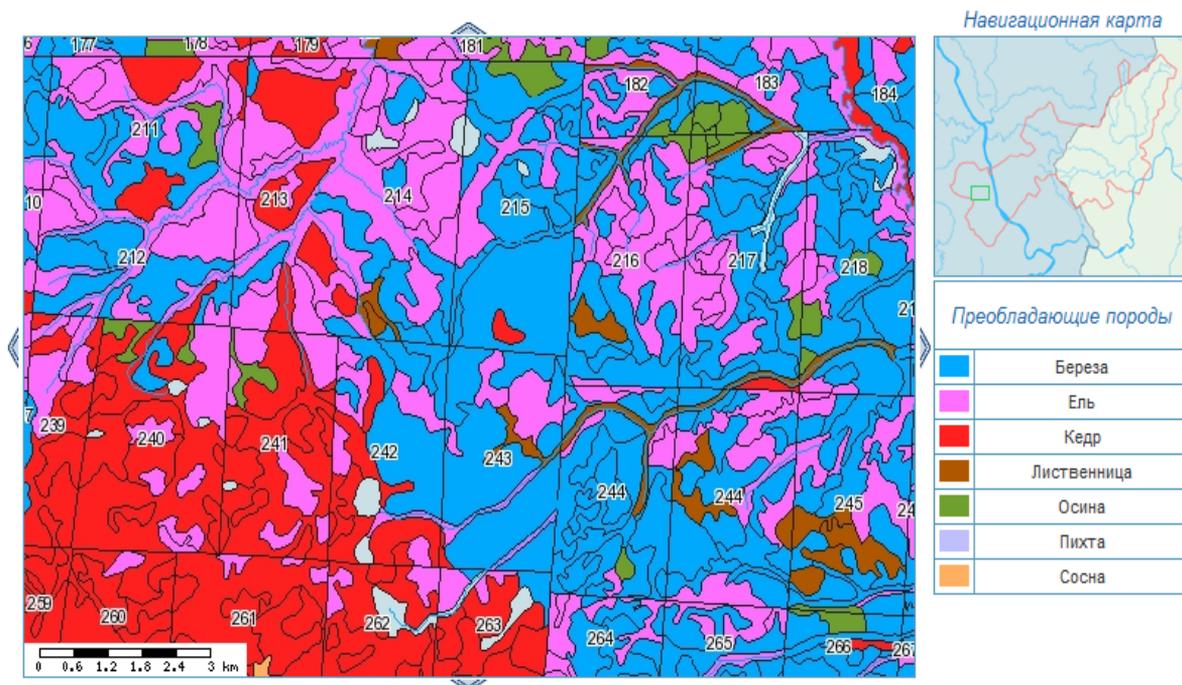


Рис. 2. Растительный покров Центрально-Сибирского заповедника

Последний этап самый трудоемкий. Картографическая база должна быть представлена на сайте в виде топографических и тематических карт по различным научным исследованиям и измерениям, таким как концентрация тяжелых металлов в почве, лесной подстилке, растительности и осадках. На рис. 2 представлен пример концентрации тяжелых металлов в растительном покрове.

Для создания актуальной картографической базы необходима тщательная и последовательная обработка спутниковых снимков. В настоящее время существует множество программ для обработки космических снимков, одной из них является ARCGIS, которую автор использует в своей работе.

Данное программное обеспечение помогает преобразовать искаженные аэрокосмические изображения, полученные со спутников Земли, путем геометрической коррекции, которая заключается в следующих этапах:

- Последовательное добавление географических карт в проект. Карты являются топоосновой для привязки.
- Настройка системы координат и назначение координат на карте.
- Привязка снимка к географическим картам.

Полученное изображение можно использовать как откорректированный космический снимок для картографической базы сайта либо как основу для создания тематических карт методом цифрования.

Для того чтобы предоставить эти данные, пользователю необходимы следующие действия:

- тщательная формализация требования правил к оформлению картографических интерфейсов для рядового и служебного пользователя;
- доступность информации по заповедным территориям для выбранного участка всем желающим;
- доступность информации по заповедным территориям для выбранного участка ограниченными пользователями с расширенными возможностями;
- возможность построения произвольных тематических карт с целью обеспечения пользователей информацией, необходимой для развития заповедных территорий.

Список литературы

1. Особо охраняемые природные территории России. [Электронный ресурс] // <<http://oopt.info/index.php?page=22>> (28.03.2011)
2. Все заповедники России и мира. [Электронный ресурс] // <<http://zapovednik.cwx.ru/zapov-rus.html>> (28.03.2011)
3. Свободная энциклопедия Википедия. [Электронный ресурс] // <<http://ru.wikipedia.org/wiki/%C7%E0%EF%EE%E2%E5%E4%ED%E8%EA>> (28.03.2011)
4. Информационный портал Байкал-Lake. [Электронный ресурс] // <<http://www.baikal-center.ru/books/element.php?ID=1202>> (29.03.2011)
5. Заповедники России. [Электронный ресурс] // <<http://www.ecosystema.ru/07referats/zap/index.htm>> (29.03.2011)
6. Ерунова М.Г. Создание геоинформационной системы Красноярского заповедника «Столбы» // Заповедное дело: Научно-методические записки комиссии по заповедному делу. Вып. 9. М., 2001. С. 76-80.
7. Кадочников А. А., Попов В. Г., Токарев А. В., Якубайлик О. Э. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов // Журнал Сибирского федерального университета, серия «Техника и технологии». 2008. Т. 1, № 4. С. 375-384.
8. Кадочников А.А. Программное обеспечение информационно-аналитических систем на основе геоинформационного Интернет-сервера // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. Специальный выпуск 2: Информационные технологии для эколого-биологических исследований. Междисциплинарный интеграционный проект СО РАН. С. 70-78.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ

А.П. Ковалева

Научные руководители В.Г. Середкин, О.А. Русанова

Сибирский федеральный университет

В современном мире, в связи с необходимостью взаимодействия с большим количеством клиентов, в большинстве крупных компаний существуют целые отделы по работе с клиентами – Call-центры. Call-центр обрабатывает большие объемы информации, поступающей в виде запросов. Количество клиентов крупных компаний может достигать десятков тысяч, поэтому, перед организациями встает вопрос качественного изменения принципов работы с клиентами. В том случае, если входящий поток запросов по поддержке продукта (услуги) состоит из часто повторяющихся и рутинных обращений клиентов, автоматизация процесса взаимодействия с клиентом позволит существенно минимизировать затраты по сравнению с необходимостью постоянного расширения штата операторов.

Использование в автоматизированной справочной системе технологий распознавания и синтеза речи позволяет организовать полноценный диалог с клиентом, в котором автоматизированная справочная система самообслуживания клиентов задает вопросы и, получая ответы клиента, адекватно на них реагирует. Таким образом, системы становятся более удобными, чем системы с тоновым набором, кроме того, сквозная навигация по меню голосовыми командами позволяет упростить и ускорить доступ к интересующей информации, что особенно удобно в случаях с глубоким уровнем вложенности разделов меню.

Таким образом, цель нашей работы – разработка аппаратно-программной модели информационно-справочной системы – является актуальной.

Данная система должна решать следующие задачи:

1. Обеспечивать клиентов необходимой информацией.
2. Однозначно распознавать информацию, исходящую от клиентов.
3. Поддерживать диалог с клиентом.
4. Быть полностью автоматизированной, за исключением нетривиальных случаев, когда консультация оператора необходима.

Современные цифровые сигнальные процессоры (DSP) позволяют достичь приемлемого качества распознавания и синтеза речи при относительно невысокой стоимости. Для обработки полученного цифрового сиг-

нала было принято решение использовать искусственные нейронные сети, программно реализованные на базе процессора Intel 80x86. В качестве решающего устройства (РУ) могут использоваться различные аппаратные решения – от реализации на рiс-контроллерах до современных процессоров – в зависимости от объема параллельно обрабатываемой информации.

Наш выбор в пользу нейронных сетей в качестве устройства, обрабатывающего поступившую с DSP информацию и предоставляющего РУ информацию для принятия решения, обуславливается преимуществами, которыми они обладают. Нейронные сети строятся по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей — сетей нервных клеток живого организма. Нейросети представляют собой систему соединённых и взаимодействующих между собой простых процессоров (искусственных нейронов). Каждый процессор подобной сети имеет дело только с сигналами, которые он периодически получает, и сигналами, которые он периодически посылает другим процессорам. Несмотря на достаточно простую, в сравнении с современными процессорами, организацию процессов сети, будучи соединенными в достаточно большую сеть с управляемым взаимодействием, такие локально простые процессоры вместе способны выполнять довольно сложные задачи. Основным достоинством нейронной сети можно выделить её обучаемость. Это свойство дает нам возможность в процессе обучения НС составить выборку обучающих данных, которая обеспечит наибольшую релевантность стоящим перед системой задачам. Кроме того, методы оптимизации работы сети (оптимизация целевой функции, оптимизация весов межнейронных связей, оптимизация топологии нейронной сети и так далее) позволяют сделать работу НС более надежной и быстрой. Еще одним неоспоримым достоинством нейронных сетей в контексте решаемой задачи считается возможность распараллеливания вычислительного процесса.

Нами представлена схема аппаратной части разрабатываемой модели (рис. 1). В количество нейронных сетей и подключаемых к ним DSP не является жестко заданным и может варьироваться в зависимости от объемов обрабатываемой информации.

Опишем принцип работы системы. Голосовой запрос клиента поступает на DSP, где производится распознавание речи. Далее полученная информация поступает на нейронную сеть, в которой производится обработка цифрового сигнала. В результате работы НС мы имеем данные, классифицированные по критерию задачи, которую необходимо решить. После этого на РУ поступает информация, достаточная для принятия решения о дальнейших действиях системы, в нашем случае – о том, что необходимо ответить пользователю на его запрос. Эти данные поступают на DSP, который синтезирует из них ответное сообщение. В том случае, если конечный результат не был достигнут, цикл повторяется.

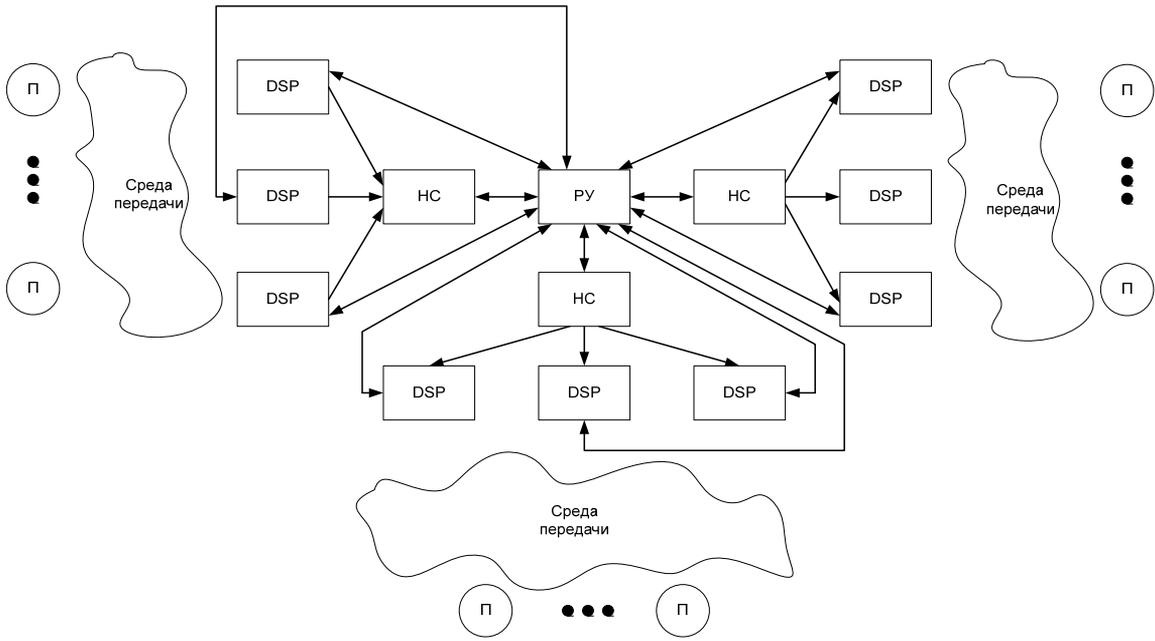


Рис. 1. Организация системы: П – пользователь; DSP – цифровой сигнальный процессор; НС – нейронная сеть; PY – решающее устройство.

Поскольку с DSP на нейронную сеть поступает достаточно большой объем информации, для связи этих устройств было решено использовать широкополосный канал (например, оптоволокно – в этом случае потребуются установка адаптера для x86-го процессора). Для взаимодействия нейросети с решающим устройством и решающего устройства с DSP будет достаточно низкоскоростного серийного интерфейса передачи данных.

Для организации работы данной системы необходимо описать стек протоколов, обеспечивающий все уровни процесса взаимодействия. В качестве модели для работы протокола было выбрана международная сетевая модель OSI. В соответствии с этой моделью выделяются уровни:

1. Физический.
2. Канальный.
3. Сетевой.
4. Транспортный.
5. Сеансовый.
6. Представления.
7. Прикладной.

Для обеспечения взаимодействия системы на первых четырех уровнях будет достаточно использовать существующие интерфейсы, обеспечивающие работу этих уровней. Для передачи данных на более высоких уровнях представляется необходимым разработку собственного протокола, определяющего поля передаваемых блоков данных и реакцию системы на них; кроме того, необходима разработка программного обеспечения. На данном этапе исследования эта задача еще не решена.

Таким образом, разработанная нами модель автоматизированной информационно-справочной системы удовлетворяет поставленным нами задачам. Такая модель может найти свое применение в компаниях, которые работают с большим количеством клиентов, в случае, если большинство обращений являются предсказуемыми и не требуют непосредственного участия человека. Такая система обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с системами с тональным набором, не требуя при этом значительного штата сотрудников.

УДК 625.76

ПРИМЕНЕНИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОТОВНОСТИ ВАКУУМНОЙ УСТАНОВКИ К ИСПЫТАНИЯМ

А.В. Котович, Д.С. Комаров
Научный руководитель А.В. Чубарь, И.П. Колчанов
Сибирский федеральный университет

Вакуумные испытания используются для обеспечения контроля качества, оценки герметичности, выявления дефектов сварных швов и поверхностей, то есть способствуют увеличению качества изделия.

Автоматизация вакуумных испытаний увеличит точность оценки герметичности, сократит время обработки результатов, что в конечном итоге сократит время изготовления и увеличит качество изделий.

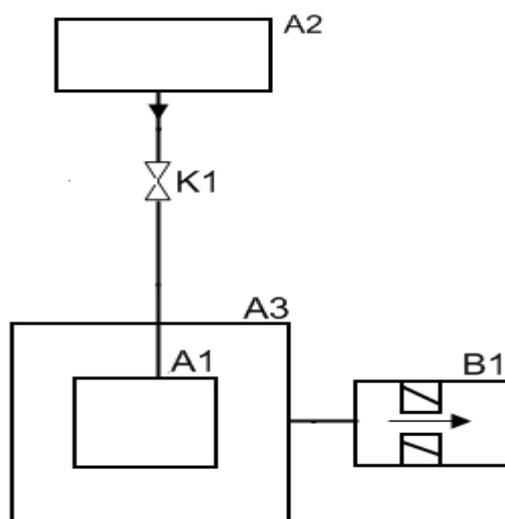


Рис. 1. Принципиальная схема вакуумных испытаний

На рисунке 1 представлена принципиальная схема вакуумных испытаний, которая состоит из: объекта испытаний (А1), гелиевого источника (А2), вакуумной камеры (А3), клапана (К1) и течеискателя (В1).

В вакуумную камеру А3 погружается испытуемый объект А1, из камеры выкачивается воздух, создается вакуум, затем объект А3 через клапан К1 заполняют гелием из гелиевого источника А2 (заправка). Гелий начинает проходить через оболочку объекта, выявляя дефекты сборки. Течеискатель В1 пропускает через себя часть откачиваемого из камеры газа и анализирует его состав, по количеству гелия он определяет величину течи.

На сегодняшний день время активной эксплуатации космических аппаратов увеличилось, что повлекло за собой ужесточение норм контроля герметичности.

Ввиду того, что в вакуумной камере есть посторонние гелиевые шумы, понижающие точность измерений, существует проблема получения достоверных данных при проведении испытаний. Имеется необходимость оценки шумов и их исключения из результатов испытаний.

Цель – оценить готовность камеры к проведению испытания, выявив установившийся режим шумов.

Для определения установившегося режима шума необходимо кусочно-линейно аппроксимировать кривую помех, определить угол наклона кривой в каждый период времени. В те моменты, когда угол будет стремиться к нулю и его изменения будут незначительны, кривая помех примет установившееся значение. Исходя из этого можно определить момент времени, наилучший для начала испытаний.

Данный метод будет реализован в системе АСУ ТП вакуумными испытаниями и будет определять показатели в режиме реального времени, что увеличит адекватность принимаемых решений. Для определения кусочно-линейной кривой аппроксимации используется метод наименьших квадратов, в котором применяем модель первого порядка. Метод наименьших квадратов относится к классу минимаксных задач, т.е. функция невязки стремится к минимуму.

Функция невязки – это функция, связывающая объект и модель испытаний.

$$\rho = \sum (Y_0 - Y_m),$$

где ρ – функция невязки, Y_0 – функция объекта, Y_m – функция модели.

$$Y_m = b_0 + b_1 \cdot x,$$

где b_0, b_1 – коэффициент

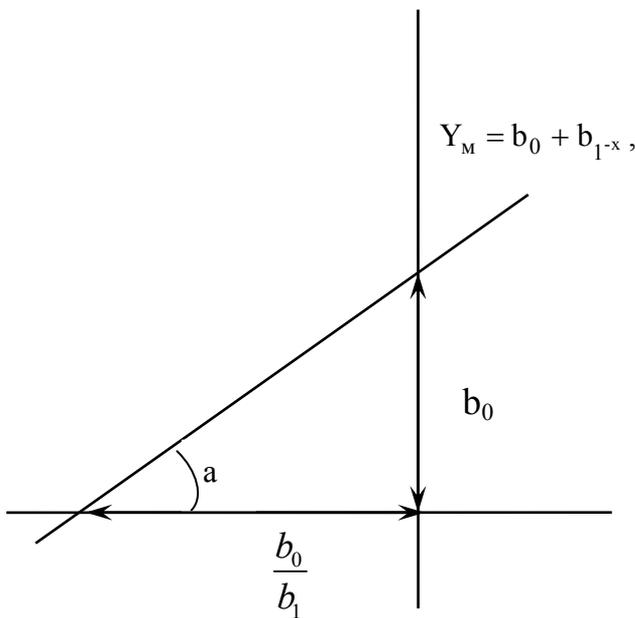
$$\rho \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} \frac{d\rho}{db_0} = 0 \\ \frac{d\rho}{db_1} = 0 \end{cases}$$

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^m y_i - b_1 \sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

$$\begin{cases} b_1 \sum_{i=1}^m x_i^2 + b_0 \sum_{i=1}^m x_i = \sum_{i=1}^m x_i y_i \\ b_1 \sum_{i=1}^m x_i + b_0 m = \sum_{i=1}^m y_i \end{cases}$$

$$b_1 = \frac{m \sum_{i=1}^m x_i y_i - \sum_{i=1}^m y_i \sum_{i=1}^m x_i}{m \sum_{i=1}^m x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^m x_i \right)^2}$$



$$\tan a = \frac{b_0}{b_1} = b_1$$

$$a = \arctan b_1$$

На рисунке 2 по оси абсцисс – время в мин. Тонкой линией представлен результат измерений шумов вакуумной камеры, в относительных единицах; пунктирной – результат кусочно-линейной аппроксимации каждые 10 минут; толстой – наклон кривой аппроксимации в градусах.

Мы видим, что на графике последние 50 минут измерений кривая наклона аппроксимирующей кривой медленно меняется и близка к нулю, что свидетельствует о том, что уровень шума в камере принял установившееся значение, следовательно, камера готова к проведению испытания.

Этот алгоритм адекватно ведет себя на практике и может стать базой для разработки автоматической системы вакуумных испытаний, что исключит человеческий фактор, позволит работать в агрессивной для человека среде и увеличит точность измерений, что приведет к улучшению качества изделий.

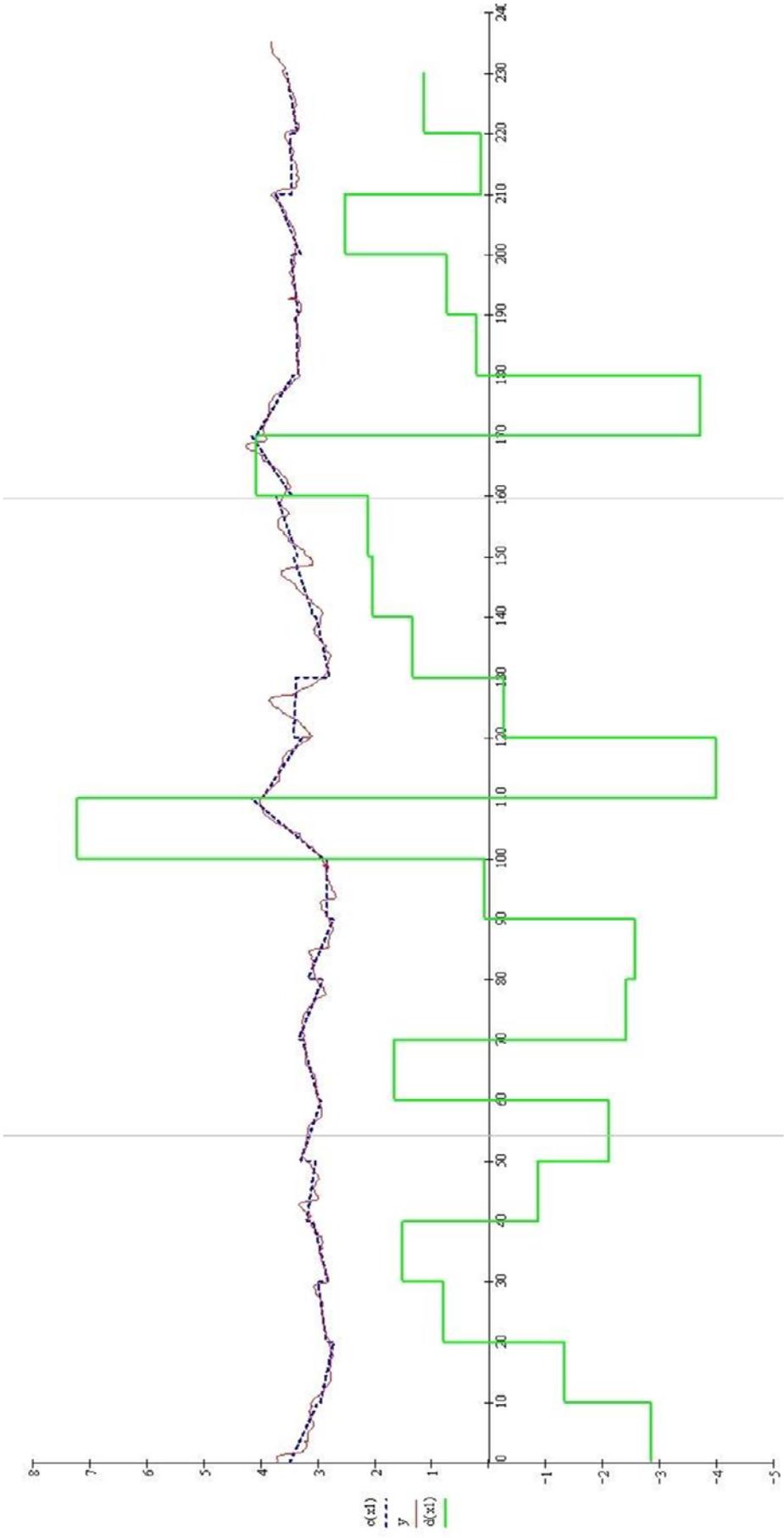


Рис. 2. Результат работы алгоритма

МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ДВУМЕРНОГО БПФ ПО АНАЛОГУ КУЛИ-ТЬЮКИ

**А.В. Старовойтов, В.С. Тутатчиков,
О.И. Киселёв**

Научный руководитель М.В. Носков
Сибирский федеральный университет

Дискретное преобразование Фурье (ДПФ) имеет несколько важных приложений благодаря тому, что существуют эффективные алгоритмы его вычисления; например, ДПФ можно использовать для спектрального анализа многомерных сигналов (космоснимки).

В работе рассмотрены алгоритмы вычисления ДПФ, значительно отличающиеся по своей вычислительной сложности: вычисление двумерного ДПФ методом разбиения на столбцы и строки, вычисляемые при помощи быстрого преобразования Фурье (БПФ), а также двумерное БПФ по аналогу с алгоритмом Кули-Тьюки.

Рассмотрим сигнал f , который является двумерным периодическим сигналом с периодом 2^s по первой и по второй координатам. Отсчёты задаются как $f_{k,t}$, где $k = 0:2^s, t = 0:2^s$.

Дискретное преобразование Фурье для данного сигнала f задаётся формулой

$$F_{l,m} = \sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^s-1} f_{k,t} e^{\frac{2\pi i l k}{2^s}} e^{\frac{2\pi i m t}{2^s}}.$$

Двумерное ДПФ Фурье можно вычислить при помощи одномерных ДПФ. Для этого вычисляют F в следующем виде:

$$F_{l,m} = \sum_{k=0}^{2^s-1} \left[\sum_{t=0}^{2^s-1} f_{k,t} e^{\frac{2\pi i m t}{2^s}} \right] e^{\frac{2\pi i l k}{2^s}}.$$

Суммы в квадратных скобках представляют собой одномерные вычисления ДПФ по строкам исходного сигнала f . Преобразуем данную формулу:

$$F_{l,m} = \sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^s-1} f_{k,t} e^{\frac{2\pi i (l k 2 + m t)}{2^s}} =$$

$$\begin{aligned}
&= \sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^{s-1}-1} f_{k,2t} e^{\frac{2\pi i(lk+mt)}{2^s}} + \\
&+ \sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^{s-1}-1} f_{k,2(t+1)} e^{\frac{2\pi i(lk+mt)}{2^s}} e^{\frac{\pi im}{2^s}},
\end{aligned}$$

где $l, m = 0: 2^s - 1$.

Сумма

$$\sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^{s-1}-1} f_{k,2t} e^{\frac{2\pi i(lk+mt)}{2^s}}$$

является двумерным ДПФ сигнала $\widetilde{f}_{k,t} = f_{k,2t}$, то есть сигнала, полученного прореживанием исходного сигнала $f_{k,t}$ по чётным отсчётам второй переменной; обозначим данное ДПФ через $F'_{l,m}$. Аналогично видно, что сумма

$$\sum_{k=0}^{2^s-1} \sum_{t=0}^{2^{s-1}-1} f_{k,2t+1} e^{\frac{2\pi i(lk+mt)}{2^s}}$$

является ДПФ сигнала $\widetilde{\widetilde{f}}_{k,t} = f_{k,2t+1}$, полученного из исходного сигнала прореживания по нечётным отсчётам второй переменной; обозначим данное ДПФ как $F''_{l,m}$.

Таким образом, нахождение двумерного дискретного преобразования Фурье сигнала $f_{k,t}$ можно реализовать по следующему алгоритму:

1. Нахождение спектра F' сигнала \widetilde{f} , где $\widetilde{f}_{k,t} = f_{k,2t}$.
2. Нахождение спектра F'' $\widetilde{\widetilde{f}}$, где $\widetilde{\widetilde{f}}_{k,t} = f_{k,2t+1}$.
3. Вычисление отсчётов спектра $F_{l,m} = F'_{l,m} + e^{\frac{\pi im}{2^s}} F''_{l,m}$, $F_{l,2^s+m} = F'_{l,m} - e^{\frac{\pi im}{2^s}} F''_{l,m}$, где $l, m \in 0: 2^s - 1$.

Для тестирования алгоритма была написана программа на языке программирования C++ с использованием библиотеки МРІ.

Тестирование проводилось на персональном компьютере с характеристиками:

- процессор: Intel Core 2 Duo CPU T8100 2.1 GHz;
- оперативная память: 2 Гб;
- операционная система: Windows XP Service Pack 3.

Время работы двумерного БПФ в миллисекундах:

Размер	Последовательный		Параллельный	
	БПФ2 по строчкам и столбцам	БПФ2 по аналогу Кули-Тьюки	БПФ2 по строчкам и столбцам	БПФ2 по аналогу Кули-Тьюки
1024	235	187	172	172
2048	1125	797	750	641
4096	4219	3485	2797	2547
8192	19797	14937	12485	10203

Вывод: в целом, модифицированный алгоритм по аналогу Кули-Тьюки даёт выигрыш в скорости около 15 %.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК

УДК 735.29.(32)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ "СТАЙНОГО" АЛГОРИТМА ДЛЯ ЗАДАЧ УСЛОВНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Ш.А. Ахмедова

Научный руководитель Е.С. Семенкин
Сибирский федеральный университет.

В работе была исследована эффективность "стаиногo" алгоритма (particle swarm optimization, PSO) на задачах условной оптимизации. Проведено сравнение вещественного и бинарного PSO, а также решена практическая задача.

Первоначально PSO был создан для задач с вещественными переменными. Идею алгоритма PSO впервые сформулировали Дж. Кеннеди и Д. К. Эберхарт в 1995 году, она была почерпнута из социального поведения некоторых животных – стаи птиц, стада копытных или косяка рыб.

PSO начинает работу с создания популяции случайным образом. Строки в PSO называются частицами. Строки-частицы представляют собой вектор координат точки в пространстве оптимизации (вещественных чисел). Каждая частица передвигается по поверхности графика функции с какой-то скоростью. Частицы изменяют свою скорость и координаты, основываясь на собственном опыте и опыте других частиц.

В настоящий момент использование алгоритмов расширилось вплоть до дискретных задач и задач с бинарными переменными. Чтобы расширить версию PSO, работающую с вещественными переменными, в бинарное/дискретное пространство, наиболее важная понять смысл таких понятий, как траектория, скорость в бинарном/дискретном пространстве. Кеннеди и Эберхарт используют скорость и вероятность для определения, является ли x_{id} (частица) в том или ином состоянии (1 или 0). Они стягивали в точку x_{id} , используя логическую функцию $s(v) = 1/(1 + \exp(-v))$, где скорость высчитывается, используя некоторое уравнение:

$$v_{id} = v_{id} + c_1 * rand() * (p_{id} - x_{id}) + c_2 * Rand() * (p_{gd} - x_{id}).$$

Если случайно сгенерированное число в пределах $[0;1]$ меньше, чем $s(v_{id})$, тогда x_{id} становится 1, иначе становится 0.

Пусть решается следующая задача условной однокритериальной оптимизации:

$$\begin{cases} f(x) \rightarrow extr \\ g_j(x) \leq 0, j = \overline{1, r} \\ h_j(x) = 0, j = \overline{r+1, m}. \end{cases}$$

В общем виде пригодность индивида x вычисляется по формуле

$$fitness(x) = f(x) + \delta \cdot \lambda(t) \cdot \sum_{j=1}^m f_j^\beta(x),$$

где t – номер текущего поколения; $\delta = 1$, если решается задача минимизации; $\delta = -1$, если решается задача максимизации; $f_j(x)$ – штраф за нарушение j -го ограничения; β – вещественное число. Штрафные функции $f_j(x)$ вычисляются по формуле

$$f_j(x) = \begin{cases} \max\{0, g_j(x)\}, j = \overline{1, r} \\ |h_j(x)|, j = \overline{r+1, m} \end{cases}.$$

Предложены следующие штрафные методы: метод «смертельных» штрафов и метод динамических штрафов. Метод «смертельных» штрафов попросту отбрасывает недопустимые решения, т.е. решения, не удовлетворяющие условиям. Данный метод хорошо работает на простых задачах, когда допустимая область обладает удобными для оптимизации свойствами (большой размер, выпуклая и т.д.). Метод динамических штрафов использует штрафные функции, описанные выше, и определяет функцию $\lambda(t)$ следующим образом: $\lambda(t) = (C \cdot t)^\alpha$. Таким образом, на t -й итерации пригодность индивида x вычисляется в данном методе по следующей формуле:

$$fitness(x) = f(x) + \delta \cdot (C \cdot t)^\alpha \cdot \sum_{j=1}^m f_j^\beta(x).$$

Параметры C, α, β подбираются индивидуально для каждой решаемой задачи.

Исследование проводилось на тестовых функциях, описанных ниже.

Задача 1

$z = (x - 2)^2 + (y - 3)^2 \rightarrow \max$ при условии, что выполняется $x^2 + y^2 \leq 52$

Задача 2

$$z = 20 + e - 20 \exp\left(-0.2 \sqrt{\sum_{i=1}^N \frac{x_i^2}{N}}\right) - \exp\left(\sum_{i=1}^N \frac{\cos(2\pi \cdot x_i)}{N}\right) \rightarrow \min, N = 4$$

$$\begin{cases} 2x_1 - 3x_2 + 4x_3 \leq 10 \\ 4x_2 - 5x_3 + x_4 \leq 1 \\ 10x_1 + 7.5x_3 - 8.4x_4 \leq 3.5 \\ -3.1x_1 + 21.7x_2 - 36.4x_4 \leq 16.2 \end{cases}$$

Задача 3

$$u = x^3 + y^2 + z \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} x \geq 0, y \geq 0, z \geq 0 \\ x^2 + y^2 + z^2 \leq 25 \end{cases}$$

Задача 4

$$z = 10x - 5y \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} y - 15 \leq 0, y + 2x^2 - 20 \leq 0 \\ -\frac{x^2}{2} - y \leq 0 \end{cases}$$

Задача 5

$$z = -10 \cdot x - 5 \cdot y \rightarrow \min$$

$$\begin{cases} x \geq 0, y \geq -15, y \leq \frac{x^2}{2} \\ y \geq 2 \cdot x^2 - 20 \end{cases}$$

Задача 6

$$z = 5 \cdot x + 0.5 \cdot y \rightarrow \max$$

$$\begin{cases} y \leq -2 \cdot x + 5, y \geq x - 1.5 \\ y \leq 2 \cdot x + 1, x \geq 0, y \geq 0 \end{cases}$$

Результаты для PSO с вещественными частицами

№ зад.	Смертельные штрафы		Динамические штрафы	
	Кол-во частиц	Кол-во поколений	Кол-во частиц	Кол-во поколений
	50	150	200	300
	200	100	100	100
	250	200	250	100
	250	200	200	200
	250	200	250	100
	400	50	150	100

Результаты для PSO с бинарными частицами

№ зад.	Смертельные штрафы		Динамические штрафы	
	Кол-во частиц	Кол-во поколений	Кол-во частиц	Кол-во поколений
	20	3200	20	6400
	20	9000	10	3200
	10	3200	10	3200
	30	3200	10	6400
	10	3200	10	3200
	10	2000	5	6400

При этом вероятность нахождения локальных экстремумов была 90-100 %.

Таким образом, для задач условной оптимизации эти алгоритмы и со смертельными, и с динамическими штрафами также результативны. Причем PSO как с вещественными, так и с бинарными переменными позволяет найти локальный экстремум функций, используя метод динамических штрафов за меньшее количество вычислений (но есть и исключения). Кроме того, для бинарного «стаинового» алгоритма требуется мало частиц и большое число поколений.

После того как исследование «стаинового» алгоритма на тестовых функциях было завершено, была решена практическая задача с использованием PSO, которая заключалась в формировании оптимального инвестиционного портфеля предприятия (химзавод – филиал ФГУП «Красмаш»). Т.е. задача состоит в составлении такого портфеля инвестиционных проектов, который приносит инвестору наибольшую прибыль. При этом должны выполняться ограничения по выделяемым средствам, норме прибыли и общей рискованности портфеля.

Для формализованной записи критерия получения максимальной доходности от инвестиционных проектов при соблюдении всех ограничений были введены следующие обозначения:

m – кол-во центров фин. ответственности (ЦФО) на предприятии;

N_i – количество инвестиционных проектов на i -м ЦФО;

P_{ij} – плановый год. объем прибыли, получаемый i -м ЦФО от внедрения j -го нововведения;

R_{ij} – экспертная оценка рискованности соответствующего инновационного проекта;

c_{ij} – плановые год. затраты фин. средств i -го ЦФО на j -е нововведение;

C_i – плановые год. объемы фин. средств, выделяемые ЦФО в план нововведений;

$C = \sum_{i=1}^m C_i$ – сумма всех средств, выделяемых всеми ЦФО на реализацию их инвестиционных программ;

M – плановый год. объем фин. средств, выделяемый центральной компанией;

r – допустимая средняя прибыль на 1 руб. затрат;

ρ – ограничение на суммарную рискованность инвестиционного портфеля;

x_{ij} – искомый параметр, показывающий, планируется ли к внедрению на i -м ЦФО j -е нововведение (если $x_{ij}=1$, то планируется; если $x_{ij}=0$, то не планируется).

Центры финансовой ответственности – это структурные подразделения предприятия, обладающие хозяйственной самостоятельностью и имеющие разрешение планировать инвестиционные проекты, финансируемые из собственных средств. Материнское предприятие может добавлять свои средства на инвестиционные программы ЦФО.

Тогда однокритериальная постановка задачи будет:

$$f(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} \Pi_{ij} x_{ij} \rightarrow \max,$$

где

$$x_{ij} \in \{1, 0\}$$

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} x_{ij}} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} R_{ij} x_{ij} \leq \rho.$$

$$\frac{1}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} c_{ij} x_{ij}} \cdot \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} \Pi_{ij} x_{ij} \leq r$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{N_i} c_{ij} x_{ij} \leq C + M$$

Исходные данные для задачи формирования инвестиционного портфеля предприятия были взяты из практики работы предприятия химзавод – филиала ФГУП «Красмаш».

Задача решалась с помощью бинарного PSO. Был применен метод динамических штрафов. В итоге результат вычислений оказался равным:

Бинарная строка	Прибыль	Риск	Средняя норма прибыли на капитал
10111111111111111110110001	117,7	1,98	0,5

Здесь единицы в бинарном представлении показывают, в проекты с какими номерами следует инвестировать деньги, а нули – в какие не следует инвестировать деньги, исходя из условия получения максимальной прибыли инвестором при выполнении ограничений задачи. Данный результат был достигнут в 94 % при 10 частицах и 3200 поколениях, т.е. для нахождения наилучшего решения просматривалось 0,095 % пространства оптимизации. При этом наихудшее найденное решение была прибыль 105,751, среднее найденное решение – 117,45097, наибольшее отклонение худшего решения от лучшего решения – 10,15208156 %, наибольшее отклонение среднего решения от лучшего решения – 0,21158028 %. Если же просматривалось 0,19 % пространства оптимизации, то вероятность получения максимальной прибыли при данных ограничениях была равна 100 %.

УДК 735.29.(32)

О ЗАДАЧЕ КОШИ ОДНОГО УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

А.А. Яковлев

Научный руководитель А.К. Цих
Сибирский федеральный университет

Для уравнения теплопроводности

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \quad (*)$$

на функцию $u(x, t)$ можно ставить две задачи Коши, поскольку это уравнение одновременно разрешимо как относительно старшей производной t , так и относительно старшей производной по x . Соответствующие задачи Коши характеризуются следующими начальными данными

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad (1)$$

либо

$$u(0, t) = \varphi(t), u_x'(0, t) = \psi(t). \quad (2)$$

При этом известно (по теореме Коши-Ковалевской), что вторая задача всегда локально аналитически разрешима при локально аналитических начальных данных $\varphi(t)$, $\psi(t)$. Первая задача не всегда разрешима в классе аналитических функций.

Цель сообщения состоит в исследовании ситуации, когда в уравнении (*) добавляются производные меньших порядков:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - b \frac{\partial u}{\partial x} - au. \quad (**)$$

Теорема. Для любых $a, b \in \mathbb{C}$ задача Коши (1) для уравнения (**) не всегда разрешима в классе аналитических функций.

Для доказательства строится разрешающий оператор $\varphi(x) \rightarrow u(x, t)$ для задачи (1) на языке коэффициентов Тейлора.

$$u_{ij} = \frac{1}{j!} \sum_{k=0}^{\infty} G_{jk} \frac{(i+2j-k)!}{i!} u_{i+2j-k,0} \quad (3)$$

где G_{jk} – коэффициенты Тейлора в $(x, t) = (0, 0)$ для рациональной функции

$$\frac{1}{1 - x + bxy + axy^2}.$$

Подбираются начальные значения $u_{s,0}$ так, что построенные по (3) коэффициенты $u_{0,n}$ быстро растут: ряд $\sum_{n=0}^{\infty} u_{0n} t^n$ имеет пустую область сходимости

УДК 004.4'2

РАЗРАБОТКА МЕТАПОИСКОВОЙ СИСТЕМЫ ПО ЭЛЕКТРОННЫМ ИНФОРМАЦИОННЫМ БИБЛИОТЕЧНЫМ РЕСУРСАМ

А.В. Спирина

Научный руководитель А.В. Бархатов

Сибирский федеральный университет

Научная библиотека Сибирского федерального университета является одной из крупнейших вузовских библиотек в России. Она имеет доступ к онлайн-базам данных крупнейших российских и зарубежных производителей информационных продуктов, содержащим: электронные полнотекстовые версии научных журналов, газет и книг, материалов конференций, патентную, библиографическую и наукометрическую информацию.

На сегодняшний день пользователи вынуждены производить один и тот же поиск по многочисленным электронным информационным ресурсам библиотеки СФУ. Данные ресурсы отличаются друг от друга поисковыми интерфейсами, навигацией, правилами запросов. Данная проблема характерна не только для Научной библиотеки Сибирского федерального университета, но и для других вузов и научных учреждений, имеющих доступ к различным электронным информационным ресурсам.

В связи с этой проблемой возникла идея разработать метапоисковую систему по электронным информационным библиотечным ресурсам, чтобы оптимизировать работу пользователей с электронными каталогами и онлайн-базами данных различных электронных библиотек.

Метапоиск, или метапоисковая система – это поисковая система, которая использует для выдачи результатов данные нескольких поисковых систем. Т.е. метапоисковая система не имеет собственной базы данных и поисковой машины (поисковых роботов, которые индексируют и оценивают сайты), а обладает только интерфейсом и механизмом запроса к базам других поисковых систем.

Разработанная метапоисковая система выступает посредником между пользователем и поисковыми системами электронных каталогов и онлайн-баз данных, рассылая введенный пользователем запрос в поисковые системы электронных информационных ресурсов и обрабатывая полученную информацию, затем выдает обработанную информацию пользователю.

В Научной библиотеке Сибирского федерального университета один из электронных каталогов работает в АБИС Ирбис, которая позволяет осуществлять метапоиск по электронным каталогам библиотек Красноярска, работающих на АБИС Ирбис. Этот метапоиск осуществляется по протоколу Z39.50.

Также достаточно известен совместный информационный проект Научной библиотеки МГУ и компании "Библиотечная компьютерная сеть" – СИГЛА. Это портал межбиблиотечной информации, который помогает сформировать запрос и найти документы в электронных каталогах крупнейших библиотек России и зарубежных стран, поддерживающих протокол Z39.50.

Для разрабатываемой метапоисковой системы был выбран механизм взаимодействия с поисковыми системами онлайн-баз данных по протоколу HTTP, так как доступа к другим, более эффективным, механизмам, таким как OAI PMH, Z39.50, нет. Для передачи данных запроса в различных поисковых системах используется HTTP-метод POST или GET. Поэтому разрабатываемая метапоисковая система использует оба метода передачи данных запроса. Многие электронные информационные ресурсы работают с пользователем с применением cookies. Вследствие чего разрабатываемая

система устроена таким образом, что вначале она получает от данного электронного информационного ресурса cookies, а затем пересылает эти данные веб-серверу данного ресурса в HTTP-запросе при попытке открыть страницу соответствующего сайта.

Так как все электронные информационные ресурсы имеют различные поисковые формы (с различными полями для поиска), то для поисковой формы разрабатываемой системы были выбраны те поля, которые встречаются во всех электронных ресурсах. Все электронные информационные ресурсы относятся к различным отраслям наук. Для оптимизации поиска по электронным информационным библиотечным ресурсам была проведена классификация этих ресурсов по отраслям науки. Таким образом, пользователь может выбрать поиск только по тем электронным информационным ресурсам, которые удовлетворяют выбранной отрасли науки.

Для разработки метапоисковой системы был выбран язык программирования PHP. Для метапоиска необходимо было реализовать “модуль мультизапроса”, который позволил бы одновременно сделать несколько запросов к сайтам электронных ресурсов. Данный модуль был реализован с использованием библиотеки cURL (реализация псевдомногопоточности на PHP). cURL – это свободная, кроссплатформенная служебная программа командной строки для передачи данных по различным протоколам с синтаксисом URL.

Принципы работы метапоисковой системы представлены на рис. 1.

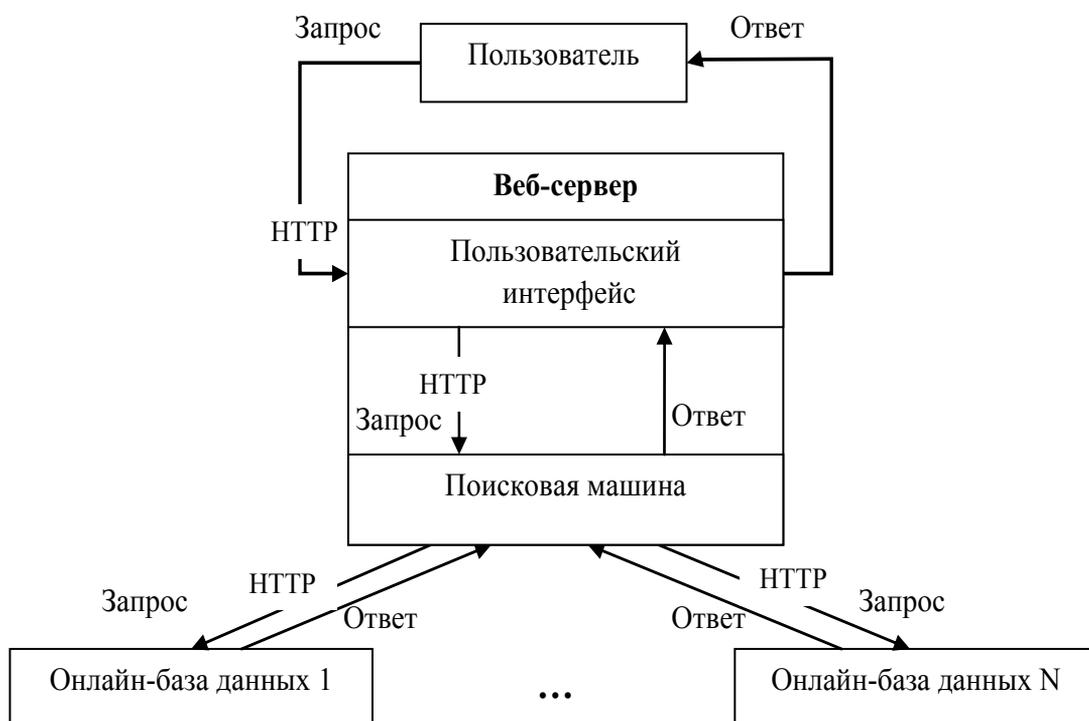


Рис. 1. Схема работы метапоисковой системы

Данная система работает следующим образом:

1. Пользователь заполняет форму запроса и отправляет запрос на веб-сервер.

2. Этот запрос (адаптированный/трансформированный под конкретную поисковую систему) с веб-сервера отправляется в поисковые системы электронных ресурсов (по протоколу HTTP).

3. На стороне электронных информационных ресурсов происходит обработка запроса.

4. Метапоисковая система получает html-коды страниц с результатами поиска, в которых содержатся метаописания найденных документов.

5. На веб-сервере происходит разбор html-кода полученных страниц для выделения нужной информации.

6. Обработанная информация предоставляется по мере поступления результатов пользователю с разбивкой по электронным ресурсам.

Разработанная структура модулей представлена на рис. 2.

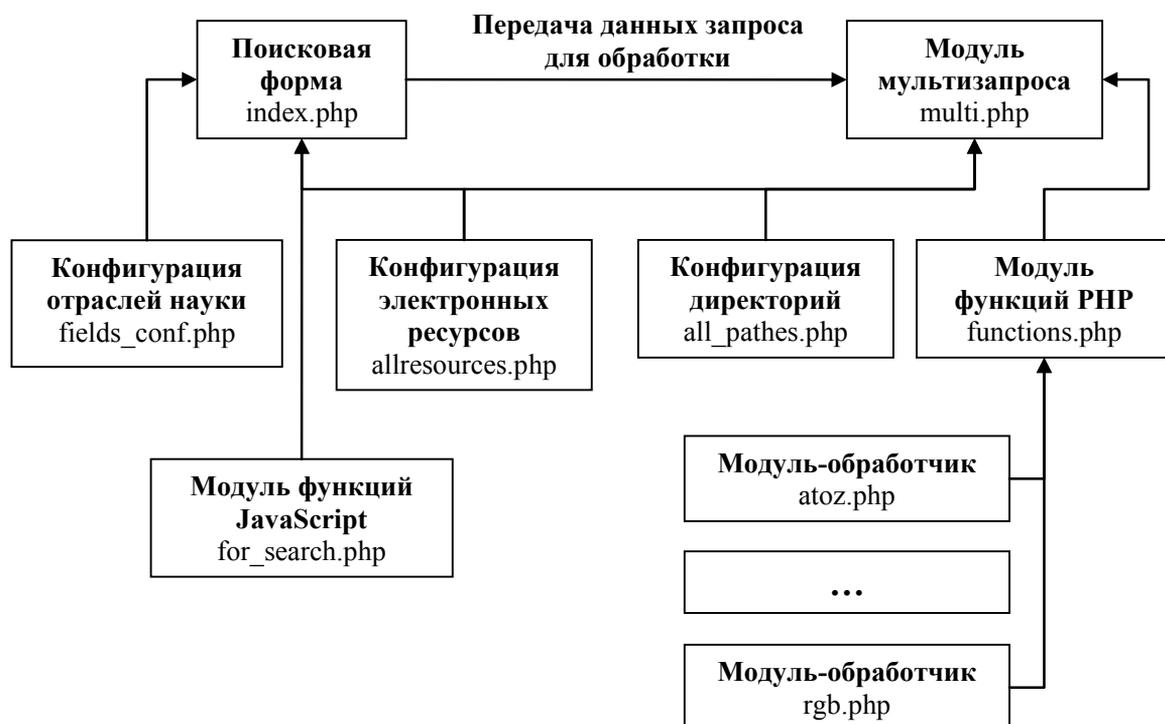


Рис. 2. Разработанная структура модулей метапоисковой системы

Метапоисковая система состоит из:

1. **Модуль index.php**. Здесь пользователь вводит свой запрос. Данная страница представлена на рис. 3 и рис. 4.

2. **Модуль multi.php**. Данный модуль организует мультизапрос по полученным данным запроса из модуля index.php и предоставляет полученные результаты пользователю.

Поиск

[Расширенный поиск](#)

естественные науки ▾

Ключевые слова

Заглавие

Автор

Ресурсы

- Выбрать все ресурсы
-  Электронный каталог НБ СФУ: литература по естественным и гуманитарным наукам
-  Архив электронных ресурсов СФУ
-  Видео СФУ
-  ЭБ ИздДома /Гребенников/
-  ЭБД РГБ (БД диссертаций)
-  A-to-Z (каталог журналов)
-  American Chemical Society
-  American Institute of Physics

*Рис. 3. Главная страница метапоисковой системы
(поля для простого поиска)*

Поиск

[Расширенный поиск](#)

естественные науки ▾

Ключевые слова

Заглавие

Автор

Ресурсы

- Выбрать все ресурсы
-  Электронный каталог НБ СФУ: литература по естественным и гуманитарным наукам
-  Архив электронных ресурсов СФУ
-  Видео СФУ
-  ЭБ ИздДома /Гребенников/
-  ЭБД РГБ (БД диссертаций)
-  A-to-Z (каталог журналов)
-  American Chemical Society
-  American Institute of Physics

Год издания

Год издания с по

Тематика

*Рис. 4. Главная страница метапоисковой системы
(поля для расширенного поиска)*

3. **Модуль field_conf.php.** Модуль содержит список отраслей науки и их идентификаторы.

4. **Модуль allresources.php.** Модуль содержит данные об электронных информационных ресурсах в виде ассоциативного массива.

5. **Модуль all_pathes.php.** Модуль содержит пути ко всем необходимым файлам.

6. **Модуль functions.php.** В модуле описаны необходимые функции PHP.

7. **Модули–обработчики.** Модули обрабатывают html-коды полученных страниц с результатами поиска.

8. Модуль `for_search.js`. Здесь содержатся необходимые функции JavaScript.

Разработанная система достаточно легко расширяется в случае подключения доступа к новым онлайн-базам данных. Необходимо лишь внести необходимую информацию об электронном информационном библиотечном ресурсе в ассоциативный массив в модуль `allresources.php` и добавить модуль-обработчик html-кода.

Время ожидания пользователем результатов поиска зависит от скорости интернет-канала к выбранным ресурсам. Так, время ожидания результатов поиска от российских электронных информационных ресурсов, как правило, меньше, чем от зарубежных.

Данная система поддерживает поиск документов на разных языках при вводе поискового запроса на нужном языке; предоставляет возможность пользователю перейти на страницу электронного информационного ресурса с результатами поиска; поддерживает поиск только по выбранным пользователем электронным информационным ресурсам.

Разработанная метапоисковая система не поддерживает русскую морфологию, дополнительные технологии поиска, такие как кавычки, в которые заключаются фразы, или булевы операторы, так как некоторые поисковые системы электронных информационных ресурсов не поддерживают данные технологии. Также эта система не поддерживает аутентификацию по логину/паролю, если какие-то электронные библиотеки (электронные информационные ресурсы) требуют регистрации.

По окончании разработки системы планируется ее внедрение на сайт Сибирского федерального университета (по адресу `libsearch.sfu-kras.ru`).

УДК 539.374

СИММЕТРИИ И ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЙ ПЛАСТИЧНОСТИ ПЛОСКОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ

В.И. Бурмак

Научный руководитель С.И. Сенашов

Сибирский федеральный университет

В работе найдена группа непрерывных преобразований, допускаемая уравнениями, и построено новое точное решение, описывающее сжатие пластического слоя жесткими плитами, которые сближаются с постоянным ускорением.

1. Рассмотрим уравнения, описывающие плоское напряженное состояние в случае медленных нестационарных течений. Уравнения имеют вид

$$\frac{\partial}{\partial t} u = (\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi - \cos \omega) \frac{\partial \omega}{\partial x} + \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \frac{\partial \omega}{\partial y} - 2 \sin \omega \frac{\partial \varphi}{\partial y}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} v = \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \frac{\partial \omega}{\partial x} - (\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi + \cos \omega) \frac{\partial \omega}{\partial y} + 2 \sin \omega \frac{\partial \varphi}{\partial x}, \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} = k\lambda (\sqrt{3} \cos \omega + 3 \sin \omega \cos 2\varphi), \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial y} = k\lambda (\sqrt{3} \cos \omega - 3 \sin \omega \cos 2\varphi), \quad (4)$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} = 6k\lambda \sin \omega \sin 2\varphi. \quad (5)$$

Здесь λ – некоторая положительная функция; φ – угол между первым главным направлением тензорного напряжения и осью Ox ; ω – угол связан со значением среднего давления $\sigma = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2)$, именно $\cos \omega = \frac{\sqrt{3}\sigma}{2k}$; k – постоянная пластичности; u, v – компоненты вектора скорости, все функции зависят от x, y, t .

Найдем точечные симметрии систем (1)-(5), используя методику Ли [1].

Оператор, допускаемый системой уравнений (1)-(5), ищем в виде

$$X = \xi^1 \partial_t + \xi^2 \partial_x + \xi^3 \partial_y + \eta^1 \partial_u + \eta^2 \partial_v + \eta^3 \partial_\lambda + \eta^4 \partial_\varphi + \eta^5 \partial_\omega, \quad (6)$$

где $\xi^1, \xi^2, \xi^3, \eta^4, \eta^5, \eta^6, \eta^7$ – искомые функции $t, x, y, u, v, \lambda, \varphi, \omega$.

Действуем первым продолжением оператора X на систему уравнений (1)-(5) и переходим на многообразие, задаваемое этими уравнениями:

$$\begin{aligned} \zeta_1^1 = & (\sqrt{3} \cos \omega \cos 2\varphi \eta^5 - 2\sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \eta^4 + \sin \omega \eta^5) \omega_x + \\ & + (\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi - \cos \omega) \zeta_2^5 + \\ & + (\sqrt{3} \cos \omega \sin 2\varphi \eta^5 + 2\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi \eta^4) \omega_y + \\ & + \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \zeta_3^5 - 2 \cos \omega \eta^4 \varphi_y - 2 \sin \omega \zeta_3^4, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\zeta_1^4 &= (\sqrt{3} \cos \omega \sin 2\varphi \eta^5 + 2\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi \eta^4) \omega_x + \\
&\quad + 2 \sin \omega \zeta_2^4 - (\sqrt{3} \sin \omega \cos 2\varphi + \cos \omega) \zeta_3^5 + \\
&\quad + (2\sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \eta^4 - \sqrt{3} \cos \omega \cos 2\varphi \eta^5 + \sin \omega \eta^5) \omega_y + \\
&\quad + \sqrt{3} \sin \omega \sin 2\varphi \zeta_2^5 + 2 \cos \omega \eta^5 \varphi_x, \\
\zeta_2^1 &= \sqrt{3} k \cos \omega \eta^3 + 3k \eta^3 \sin \omega \cos 2\varphi - \sqrt{3} k \lambda \sin \omega \eta^5 + 3k \lambda \cos \omega \cos 2\varphi \eta^5 - \\
&\quad - 6k \lambda \sin \omega \sin 2\varphi \eta^4, \\
\zeta_3^2 &= \sqrt{3} k \cos \omega \eta^3 - 3k \eta^3 \sin \omega \cos 2\varphi - \sqrt{3} k \lambda \sin \omega \eta^5 - 3k \lambda \cos \omega \cos 2\varphi \eta^5 + \\
&\quad + 6k \lambda \sin \omega \sin 2\varphi \eta^4, \\
\zeta_3^1 &= 6k \sin \omega \sin 2\varphi \eta^3 + 6k \lambda \cos \omega \sin 2\varphi \eta^5 + 12k \lambda \sin \omega \cos 2\varphi \eta^4 - \zeta_2^2. \quad (8)
\end{aligned}$$

Расщепляя уравнения (8) по переменным $v_x, \lambda_i, \varphi_i, \omega_i, i = t, x, y$, получим определяющие уравнения. Решая эти дифференциальные уравнения, получим

$$\begin{aligned}
\xi^1 &= (a_1 + a_2)t + a_3, \quad \xi^2 = a_2x - a_4y + a_5, \quad \xi^3 = a_4x + a_2y + a_6, \\
\eta^1 &= a_1u - a_4v - a_7y + a_8, \quad \eta^2 = a_4u + a_1v + a_7x + a_9, \\
\eta^3 &= (a_1 - a_2)\lambda, \quad \eta^4 = a_4, \quad \eta^5 = 0, \quad (9)
\end{aligned}$$

где $a_i, i = \overline{1,9}$ – постоянные. Выпишем базис алгебры Ли L_9 , порождающей группу непрерывных преобразований, которая допускается системой уравнений (1)-(5):

$$\begin{aligned}
X_1 &= -y\partial_x + x\partial_y - v\partial_u + u\partial_v + \partial_\varphi, \quad X_2 = t\partial_t + x\partial_x + y\partial_y - \lambda\partial_\lambda, \\
X_3 &= t\partial_t + u\partial_u + v\partial_v + \lambda\partial_\lambda, \\
X_4 &= -y\partial_u + x\partial_v, \quad X_5 = \partial_y, \quad X_6 = \partial_x, \quad X_7 = \partial_v, \quad X_8 = \partial_u, \quad X_9 = \partial_t. \quad (10)
\end{aligned}$$

Каждому оператору (10) соответствует однопараметрическая подгруппа. Найдем их

$$\begin{aligned}
X_1 : x' &= x \cos a - y \sin a, y' = y \cos a + x \sin a, u' = u \cos a - v \sin a, \varphi' = \varphi + a; \\
X_2 : t' &= te^a, x' = xe^a, y' = ye^a, \lambda' = \lambda e^{-a}; \\
X_3 : t' &= te^a, u' = ue^a, v' = ve^a, \lambda' = \lambda e^a; \\
X_4 : u' &= u - ya, v' = v + xa; \quad X_5 : y' = y + a; \quad X_6 : x' = x + a;
\end{aligned}$$

$$X_7 : v' = v + a; \quad X_8 : u' = u + a; \quad X_9 : t' = t + a. \quad (11)$$

Здесь указаны только переменные, которые преобразуются данными преобразованиями.

Таблица коммутаторов алгебры Ли L_9 имеет вид (табл. 1):

Таблица 1

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
X_1	0	0	0	0	X_6	$-X_5$	X_8	$-X_7$	0
X_2	0	0	0	X_4	$-X_5$	$-X_6$	0	0	$-X_9$
X_3	0	0	0	$-X_4$	0	0	$-X_7$	$-X_8$	$-X_9$
X_4	0	$-X_4$	X_4	0	X_5	$-X_6$	0	0	0
X_5	$-X_6$	X_5	0	$-X_5$	0	0	0	0	0
X_6	X_5	X_6	0	X_6	0	0	0	0	0
X_7	$-X_8$	0	X_7	0	0	0	0	0	0
X_8	X_7	0	X_8	0	0	0	0	0	0
X_9	0	X_9	X_9	0	0	0	0	0	0

Согласно [1] построим внутренние автоморфизмы:

$$X_1 \rightarrow A_1 : X'_2 = X_2, X'_3 = X_3, X'_4 = X_4, X'_5 = X_5 \cos a_1 + X_6 \sin a_1, \\ X'_9 = X_9, X'_6 = X_6 \cos a_1 - X_5 \sin a_1, X'_7 = X_7 \cos a_1 + X_8 \sin a_1, \\ X'_8 = X_8 \cos a_1 - X_7 \sin a_1;$$

$$X_2 \rightarrow A_2 : X'_1 = X_1, X'_3 = X_3, X'_4 = X_4 e^{a_2}, X'_5 = X_5 e^{-a_2}, X'_6 = X_6 e^{-a_2}, \\ X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9 e^{-a_2};$$

$$X_3 \rightarrow A_3 : X'_1 = X_1, X'_2 = X_2, X'_4 = X_4 e^{-a_3}, X'_5 = X_5, X'_6 = X_6, \\ X'_7 = X_7 e^{-a_3}, X'_8 = X_8 e^{-a_3}, X'_9 = X_9 e^{-a_3};$$

$$X_4 \rightarrow A_4 : X'_1 = X_1, X'_2 = X_2 - a_4 X_4, X'_3 = X_3 - a_4 X_4, X'_5 = X_5 e^{a_4}, \\ X'_6 = X_6 e^{-a_4}, X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9;$$

$$X_5 \rightarrow A_5 : X'_1 = X_1 - a_5 X_6, X'_2 = X_2 + a_5 X_5, X'_3 = X_3, X'_6 = X_6, \\ X'_4 = X_4 - a_5 X_5, X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9;$$

$$X_6 \rightarrow A_6 : X'_1 = X_1 + a_6 X_5, X'_2 = X_2 + a_6 X_6, X'_3 = X_3, X'_5 = X_5, \\ X'_4 = X_4 + a_6 X_6, X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9;$$

$$\begin{aligned}
X_7 \rightarrow A_7 : X'_1 &= X_1 - a_7 X_8, X'_2 = X_2, X'_3 = X_3 + a_7 X_7, X'_5 = X_5, X'_6 = X_6, \\
&X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9; \\
X_8 \rightarrow A_8 : X'_1 &= X_1 + a_8 X_7, X'_2 = X_2, X'_3 = X_3 - a_8 X_8, X'_5 = X_5, X'_6 = X_6, \\
&X'_7 = X_7, X'_8 = X_8, X'_9 = X_9; \\
X_9 \rightarrow A_9 : X'_1 &= X_1, X'_2 = X_2 + a_9 X_9, X'_3 = X_3, X'_4 = X_4, \\
&X'_5 = X_5, X'_6 = X_6, X'_7 = X_7, X'_8 = X_8;
\end{aligned} \tag{12}$$

С помощью внутренних автоморфизмов построены все неподобные подалгебры алгебры (10), которые позволяют построить все различные инвариантные решения системы (1)-(5). Приведем пример одного такого решения.

2. Систему уравнений (1)-(5) перепишем в виде

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau}{\partial y} = 0, \quad \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau}{\partial x} = 0, \tag{13}$$

$$\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau^2 = 3k^2, \tag{14}$$

$$\frac{\frac{\partial u}{\partial x}}{2\sigma_x - \sigma_y} = \frac{\frac{\partial v}{\partial y}}{2\sigma_y - \sigma_x} = \frac{\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}}{6\tau} = \lambda^{-1}. \tag{15}$$

Здесь σ_x, σ_y, τ – компоненты тензора напряжений, k, u, v, λ – определены выше. Уравнения (13) – суть условия равновесия, (14) – суть условия пластичности, (15) – закон течения.

Уравнения (13)-(15) также допускают оператор

$$X_3 = t\partial_t + u\partial_u + v\partial_v + \lambda\partial_\lambda.$$

Поэтому инвариантное решение уравнений (13)-(15) ищем в виде:

$$u = tu(x, y), \quad v = tv(x, y), \quad \lambda = t\lambda(x, y).$$

Решения такого вида можно использовать для описания движений с постоянным ускорением. В этой работе мы ограничимся решениями вида

$$u = tu(y), \quad v = tv(y).$$

Система уравнений (13)-(15) имеет решения

$$u = \frac{ck \sin \theta}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}}, \quad v = -\frac{ck \cos \theta}{\sqrt{1 + 3 \cos^2 \theta}}. \tag{16}$$

Компоненты тензора напряжений в этом случае равны

$$\tau = k \cos \theta, \sigma_y = 2k \sin \theta, \sigma_x = k \sin \theta, \quad (17)$$

где θ неявно определено формулой

$$cy = \frac{1}{4} E\left(\theta, \frac{\sqrt{3}}{2}\right), \quad (18)$$

где $E\left(\theta, \frac{\sqrt{3}}{2}\right)$ – эллиптический интеграл второго рода, c – произвольная постоянная.

Подробности построения данного решения представлены в [2].

3. Дадим одну из возможных интерпретаций построенного решения (16)-(18). Пусть

$$y_1 = E\left(-\frac{\pi}{4}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right), y_2 = E\left(-\frac{3\pi}{4}, \frac{\sqrt{3}}{2}\right),$$

тогда

$$\begin{aligned} \tau(y_1) &= k \frac{\sqrt{2}}{2}, \sigma_y(y_1) = \sqrt{2}k, u(y_1) = ck \frac{\sqrt{5}}{5}, v(y_2) = -ck \frac{\sqrt{5}}{5}, \\ \tau(y_2) &= -k \frac{\sqrt{2}}{2}, \sigma_y(y_2) = -\sqrt{2}k, u(y_2) = -ck \frac{\sqrt{5}}{5}, v(y_1) = ck \frac{\sqrt{5}}{5}. \end{aligned} \quad (19)$$

Это означает, что верхняя шероховатая жесткая плита, заданная уравнением $y = y_1$, движется вниз и вправо с постоянными ускорениями. На плите задано постоянное нормальное и касательные напряжения. Вторая плита, ее уравнение $y = y_2$, движется вверх и влево с постоянными ускорениями. На этой плите также заданы нормальное и касательное напряжения.

Замечание. Подобные решения можно построить и для описания сжатия трубы, стенки которой движутся с постоянным ускорением.

Список литературы

1. Кирыков П.П., Сенашов С.И., Яхно А.Н. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001.
2. Сенашов С.И., Бурмак В.И. Точное решение уравнений пластичности плоского напряженного состояния // Вестн. Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та: сб. науч. тр. Вып. 4(30). Красноярск, 2010. С. 10-11.

ИГРОВЫЕ МОДЕЛИ В УСЛОВИЯХ ПОЛНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

В.Н. Заикина

Научный руководитель Е.Е. Голденок

Сибирский федеральный университет

Неопределенность, связанную с полным отсутствием информации о вероятностных состояниях среды (природы), называют «безнадежной». В таких случаях для определения оптимального решения для игрока в зависимости от целевой установки используются различные критерии.

Критерий Вальда (максиминный критерий) основывается на принципе пессимизма (наибольшей осторожности). При выборе решения рассчитывать нужно наихудший вариант. Стратегия, для которой достигается значение W , будет оптимальной:

$$W = \max_i \min_j a_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Критерий Гурвица. При любом выборе стратегии наихудший вариант для лица, принимающего решение, реализуется с вероятностью γ , а наилучший – с вероятностью $1-\gamma$, где γ – показатель пессимизма ($0 \leq \gamma \leq 1$). Оптимальной в этом случае будет стратегия, для которой достигается значение G :

$$G = \max_i (\gamma \cdot \min_j a_{ij} + (1 - \gamma) \cdot \max_j a_{ij}), i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Критерий Сэвиджа. Критерий крайнего пессимизма. Оптимальной является стратегия, для которой минимизируется максимальный риск, т.е. достигается значение S :

$$S = \min_i \max_j r_{ij}, i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}. \quad (3)$$

Критерий недостаточного основания Лапласа. Используется при наличии неполной информации о вероятностных состояниях природы. Все вероятности состояний природы $P_j (j = \overline{1, n})$ полагаются равным $q_j = \frac{1}{n}$. Оптимальной по данному критерию является стратегия A_i , для которой достигается значение L :

$$L = \max_i \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n a_{ij} \right), i = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Если в исходной задаче матрица результатов представлена матрицей рисков $R=(r_{ij})$, $i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}$, то критерий Лапласа примет следующий вид:

$$L = \max_i \left(\frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n r_{ij} \right), i = \overline{1, m}. \quad (5)$$

Элементы r_{ij} определяются по следующей формуле, где β_j – максимальный элемент в j -ом столбце платежной матрицы a_{ij}

$$r_{ij} = \beta_j - a_{ij}. \quad (6)$$

Рассмотрим пример, иллюстрирующий критерии, представленные выше.

Сельскохозяйственное предприятие выращивает капусту. Оно может выбрать одну из трех стратегических программ реализации данного продукта в течение сезона:

- A_1 – реализовать осенью;
- A_2 – реализовать осенью и зимой;
- A_3 – реализовать весной.

Сумма затрат на производство, хранение и реализацию капусты для хозяйства при выборе каждой стратегии составляет соответственно 20 000, 30 000 и 40 000 ден. ед. На региональном рынке может сложиться одна из трех ситуаций:

- Π_1 – продукция поступает равномерно, колебание цен не происходит;
- Π_2 – продукция поступает неравномерно, происходит колебание цен;
- Π_3 – продукция поступает неравномерно, происходит значительное колебание цен.

Выручка предприятия от реализации капусты при выборе каждой из стратегий и при формировании различных ситуаций на рынке представлены в таблице

Таблица

Стратегия хозяйства	Выручка от реализации капусты, тыс. ден. ед.		
	Π_1	Π_2	Π_3
A_1	30	25	22
A_2	30	40	33
A_3	30	40	60

Определить наиболее выгодную стратегию хозяйства в ситуации отсутствия информации о вероятностных состояниях рынка. При этом предприятию необходимо: а) получить минимально гарантированный выигрыш; б) учесть значения риска от принятия различных решений.

Коэффициент пессимизма равен 0,3.

Решение:

1. Составим платежную матрицу данной игры.

	Π_1	Π_2	Π_3
A_1	10	5	2
A_2	0	10	3
A_3	-10	0	20

Коэффициенты получены как разница между выручкой от реализации капусты и затратами на ее производство.

2. Определим наиболее выгодные стратегии сельскохозяйственного предприятия по различным критериям:

а) критерий Вальда (1). Необходимые результаты вычисления представлены в следующей таблице.

	Π_1	Π_2	Π_3	$\min a_{ij}$	$V = \max \min a_{ij}$
A_1	10	5	2	2	2
A_2	0	10	3	0	-
A_3	-10	0	20	-10	-

Таким образом, в соответствии с критерием Вальда оптимальной стратегией является стратегия A_1 – реализовать осенью;

б) критерий Гурвица (2) (коэффициент пессимизма $\gamma=0,3$). Результаты вычисления представлены в следующей таблице.

	Π_1	Π_2	Π_3	$\min a_{ij}$	$\max a_{ij}$	$G = 0,3 \min a_{ij} + 0,7 \max a_{ij}$	$G = \max G_i$
A_1	10	5	2	2	10	$G_1 = 0,3 \cdot 2 + 0,7 \cdot 10 = 7,6$	-
A_2	0	10	3	0	10	$G_2 = 0,3 \cdot 0 + 0,7 \cdot 10 = 7$	-
A_3	-10	0	20	-10	20	$G_3 = 0,3 \cdot (-10) + 0,7 \cdot 20 = 11$	11

Таким образом, в соответствии с критерием Гурвица оптимальной стратегией является стратегия A_3 – реализовать весной;

в) критерий Сэвиджа. По формуле (3) вычислим элементы для матрицы рисков – r_{ij} (6) и занесем их в таблицу.

	Π_1	Π_2	Π_3	$\max r_{ij}$	$V = \min \max r_{ij}$
A_1	0	5	18	18	-
A_2	10	0	17	17	17
A_3	20	10	0	20	-

Полученные результаты привели к выбору стратегии A_2 – реализовать осенью и зимой;

г) критерий Лапласа. Этот критерий предполагает, что P_1, P_2 и P_3 равновероятны, т.е. $q = \frac{1}{n} = \frac{1}{3}$. Воспользуемся формулой (4).

$$\text{При } A_1: L = \frac{1}{3} \cdot (10 + 5 + 2) = \frac{17}{3} \approx 5,67;$$

$$\text{При } A_2: L = \frac{1}{3} \cdot (0 + 10 + 3) = \frac{13}{3} \approx 4,33;$$

$$\text{При } A_3: L = \frac{1}{3} \cdot (-10 + 0 + 20) = \frac{10}{3} \approx 3,33.$$

Здесь $L=5,67$ – наилучший результат, поэтому оптимальной стратегией по данному критерию является A_1 – реализовать всю капусту осенью.

Далее ЛПР предстоит сделать выбор, какой из возможных стратегий отдать предпочтение:

по критерию Вальда – выбор стратегии A_1 ;

по критерию Гурвица – выбор стратегии A_3 ;

по критерию Сэвиджа – выбор стратегии A_2 ;

по критерию Лапласа – выбор стратегии A_1 .

УДК 519.2

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ. ВИЗУАЛИЗАТОРЫ ПРОЦЕССОВ В СОВРЕМЕННОМ ПРОГРАММИРОВАНИИ

А.С. Нифонтов, Б.В. Олейников

Сибирский федеральный университет

Визуализация – метод представления информации в виде изображения. Исследования показали, что зрение обеспечивает человеку около 90 % информации.

Наглядное изображение процессов, происходящих в памяти компьютера, представляет актуальную задачу в программировании. Графическое представление помогает не только начинающим программистам в обучении, но и более опытным в отладке написанных ими программ.

Дерево – одна из наиболее широко распространённых структур данных в информатике, эмулирующая древовидную структуру в виде набора связанных узлов. Является связанным графом, не содержащим циклы. Применение деревьев имеет довольно широкую область: упрощение поиска информации, управление иерархией данных, управление сортирован-

ными списками данных, синтаксический разбор арифметических выражений, оптимизация программ и т.д.

Частным случаем деревьев являются бинарные деревья – это древовидная структура данных, в которой каждый узел имеет не более двух потомков. Основным преимуществом двоичного дерева поиска перед другими структурами данных выступает возможная высокая эффективность реализации основанных на нём алгоритмов поиска и сортировки. При построении бинарных деревьев поиска возможна несбалансированность, т.е. количество операций во время поиска по структуре, содержащей n -вершин может достигать $O(n)$. Для избавления от этого недостатка в 1962 г. советские математики Адельсон-Вельский и Ландис предложили своё определение сбалансированности деревьев. При использовании деревьев, соответствующих их определению, обеспечивается простая процедура балансировки, при том, что средняя длина поиска составляет $O(\log n)$. Такие деревья принято называть AVL-деревьями. Следующий шаг в развитии структуры совершил Rudolf Bayer в 1972 г., озвучив принцип создания Red-Black деревьев, основной плюс – занимает меньше памяти, чем AVL, но в то же время поиск в нем чуть медленнее. Современные методы балансировки сформулировал Arne Andersson. Построенные по этим правилам деревья называются AA-деревья, их характеристики схожи с красно-чёрными деревьями, но их построение проще и быстрее.

Визуальное представление бинарных деревьев оказывает существенную роль в их изучении. К настоящему времени созданы многие виды визуализаторов, демонстрирующих принципы работы с бинарными деревьями, например, визуализаторы, разработанные кафедрой информатики образования факультета математики, физики и информатики университета Коменского; Санкт-Петербургским государственным университетом информационных технологий, механики и оптики факультетом информационных технологий и программирования кафедрой компьютерных технологий; также Петром Паулисом и Микулашом Патаки. Каждый из визуализаторов имеет свои плюсы, но ни один из них не даёт представления о том, как алгоритмически происходит построение, как код программы реализуется в памяти и не представляет возможности сравнить трудозатратность разных динамических структур.

Основной задачей является разработка ПО, в котором решены отмеченные проблемы. Процесс построения с визуальной трассировкой по Pascal коду, написанному в среде Delphi Во время трассировки построено с помощью графики и максимально простым для восприятия способом отображается изменение структуры. Также для различных деревьев имеется способ сравнить эффективность операций: построение и поиск элемента.

Написанная программа может существенно помочь начинающим программистам в изучении двоичных деревьев.

В дальнейшем развитии программы планируется увеличение количества демонстрируемых операций, а так же усовершенствование пользовательского интерфейса.

В работе рассмотрены:

- «Binary search trees» – <http://people.ksp.sk/~kuko/bak/index.html>
- «Бинарное дерево поиска» – <http://rain.ifmo.ru/cat/view.php/vis/trees/binary-search-2002>
- «AA Visual 2007» – <http://www.softpedia.com/get/Others/Home-Education/AA-Visual-2007.shtml>

УДК 004.42

ТЕХНОЛОГИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ НА ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРАХ ОБЩЕГО НАЗНАЧЕНИЯ

В.С. Волков

Научный руководитель Е.Д. Карпова

Сибирский федеральный университет

В последнее время большое внимание уделяется проблеме использования видеокарт для программирования широкого круга задач, не связанных непосредственно с графикой. В результате вместо термина «видеокарта» все чаще говорят о GPCPU.

GPGPU (General-Purpose Graphics Processing Units, графический процессор общего назначения) – техника использования графического процессора видеокарты для общих вычислений, которые обычно проводит центральный процессор.

CPU (Central Processing Unit, центральное обрабатывающее устройство) – электронный блок или микросхема, исполнитель машинных инструкций (кода программ), главная часть аппаратного обеспечения компьютера или программируемого логического контроллера. Иногда называют микропроцессором или просто процессором.

OpenCL (Open Computing Language, открытый язык вычислений) – фреймворк для написания компьютерных программ на различных графических и центральных процессорах. OpenCL обеспечивает параллелизм на уровне инструкций и на уровне данных и является реализацией техники GPGPU. В фреймворк OpenCL входит язык программирования, который базируется на стандарте Си99.

Отметим следующие особенности OpenCL:

- использование всех вычислительных ресурсов системы;
- GPU, CPU и другие процессоры;
- параллелизм на уровне данных и на уровне задач;
- эффективная модель параллельных вычислений;
- абстрагирование от оборудования;
- основан на языке Си;
- специфицирует точность вычислений;
- режимы округления IEEE754;
- определена точность встроенных функций;
- возможность добавления расширений.

На рис. 1 представлена модель работы системы OpenCL.

Цель данной статьи использование GPGPU в сравнении с CPU на примере реализации алгоритма Хаффмана для сжатия данных.

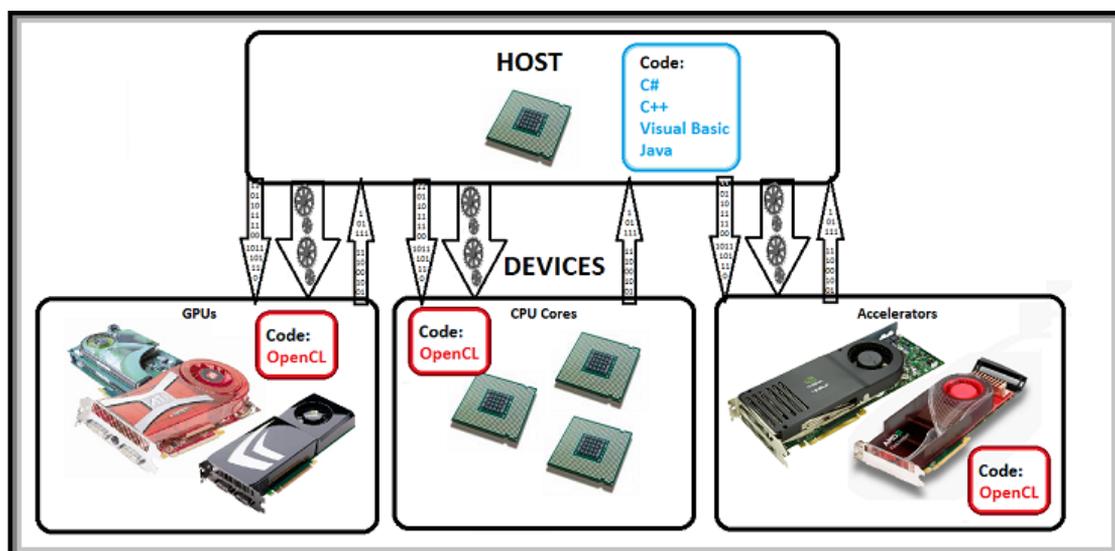


Рис. 1. Модель работы системы OpenCL

В классической реализации алгоритма Хаффмана мы должны дважды прочитать файл: первый раз, чтобы посчитать вероятности вхождения каждого символа, а второй раз, выполняя сжатие файла. В работе рассмотрен алгоритм подсчета вхождения каждого символа в файле с использованием GPGPU и двух версий программ для CPU (последовательная и параллельная), написанных на языке программирования Си#.

Для тестирования использовалось следующее оборудование:

- процессор(CPU): AMD PHENOM X4 955 Black Edition 4-ядра;
- видеокарта: MSI GeForce GTS 450.

Для замера скорости работы программ были выбраны два файла: один размером 9,92 МБ (10 407 936 байт), второй 284 МБ (297 947 136 байт). Для

измерения времени используется класс Stopwatch(), доступный в языке Си#. Точность замера времени зависит от частоты процессора и теоретически на используемом компьютере равна $1/32902109016524975 = 3,0e-16$.

Замеры производились по десять раз для каждой версии программы и для каждого файла. На рис. 2–3 представлены графики, демонстрирующие среднее время на основании замеров.

В табл. 1 и на рис. 2 представлена информация для файла размером 9,92 МБ. Из рисунка и таблицы видно, что на этом тесте OpenCL превосходит по скорости CPU(Sync) в шесть раз, а CPU(Async) в четыре раза.

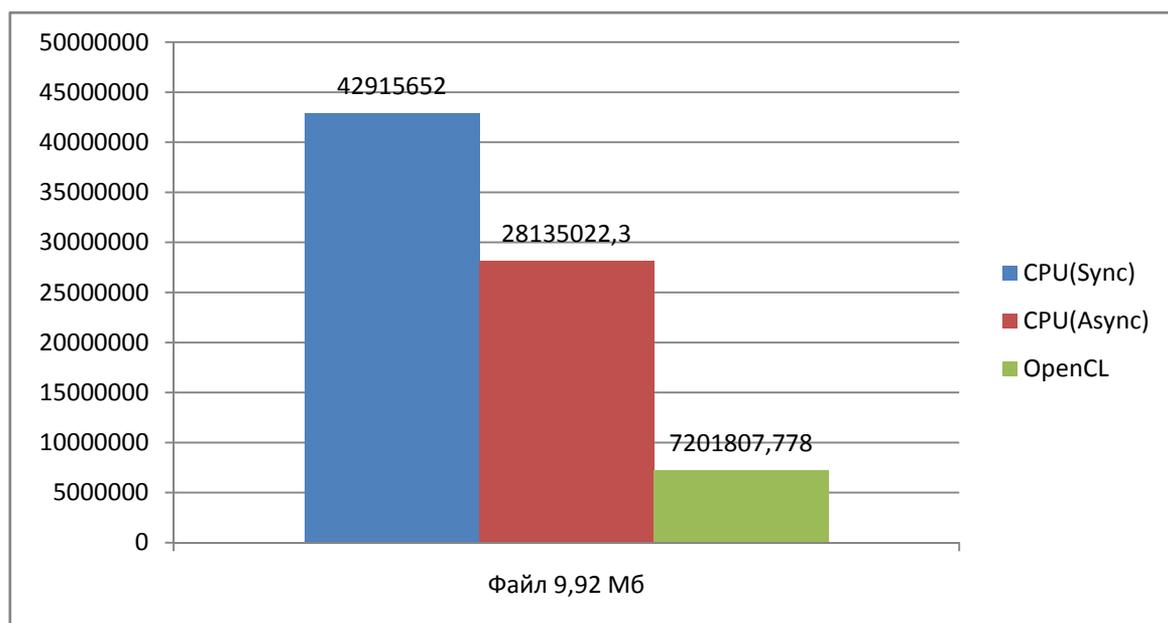


Рис. 2. Среднее время выполнения программы на файле размером 9,92 МБ

Таблица 1. Время выполнения программы на файле размером 9,92 МБ

Синхронное время для CPU	Асинхронное время для CPU	Время OpenCL
00:00:04.2614014	00:00:02.6437079	00:00:00.7211382
00:00:04.2766471	00:00:03.1778067	00:00:00.7214607
00:00:04.2730737	00:00:02.5877035	00:00:00.7191261
00:00:04.5423760	00:00:02.5935329	00:00:00.7195999
00:00:04.2565692	00:00:03.2328503	00:00:00.7203116
00:00:04.2498611	00:00:02.6367112	00:00:00.7216355
00:00:04.2638007	00:00:02.6473304	00:00:00.7189992
00:00:04.2706906	00:00:02.7049616	00:00:00.7212668
00:00:04.2650615	00:00:03.2787918	00:00:00.7195983
00:00:04.2561707	00:00:02.6316260	00:00:00.7196289

В табл. 2 и на рис. 3 представлена информация для файла размером 284 МБ. Из рисунка и таблицы видно, что на этом тесте OpenCL превосходит по скорости CPU(Sync) в *девятью семь (!) раз*, а CPU(Async) в *сорок восемь раз*.

Таблица 2. Время выполнения программы на файле размером 284 МБ

Асинхронное время для CPU	Синхронное время для CPU	Время OpenCL
00:01:07.6638835	00:02:18.7945631	00:00:02.3442649
00:01:07.5787202	00:02:28.9771076	00:00:02.2658456
00:01:09.0680060	00:02:18.9736316	00:00:02.2664110
00:01:08.8866856	00:02:19.7737336	00:00:02.2724685
00:01:08.0746633	00:02:18.9537366	00:00:02.2694669
00:01:08.1586118	00:02:17.3537366	00:00:02.2695683
00:01:08.3605142	00:02:19.9245873	00:00:02.2647699
00:01:08.0265990	00:02:19.1421356	00:00:02.2718034
00:01:09.1984674	00:02:18.7498245	00:00:02.2649339
00:01:18.9827208	00:02:18.9423213	00:00:02.2668215

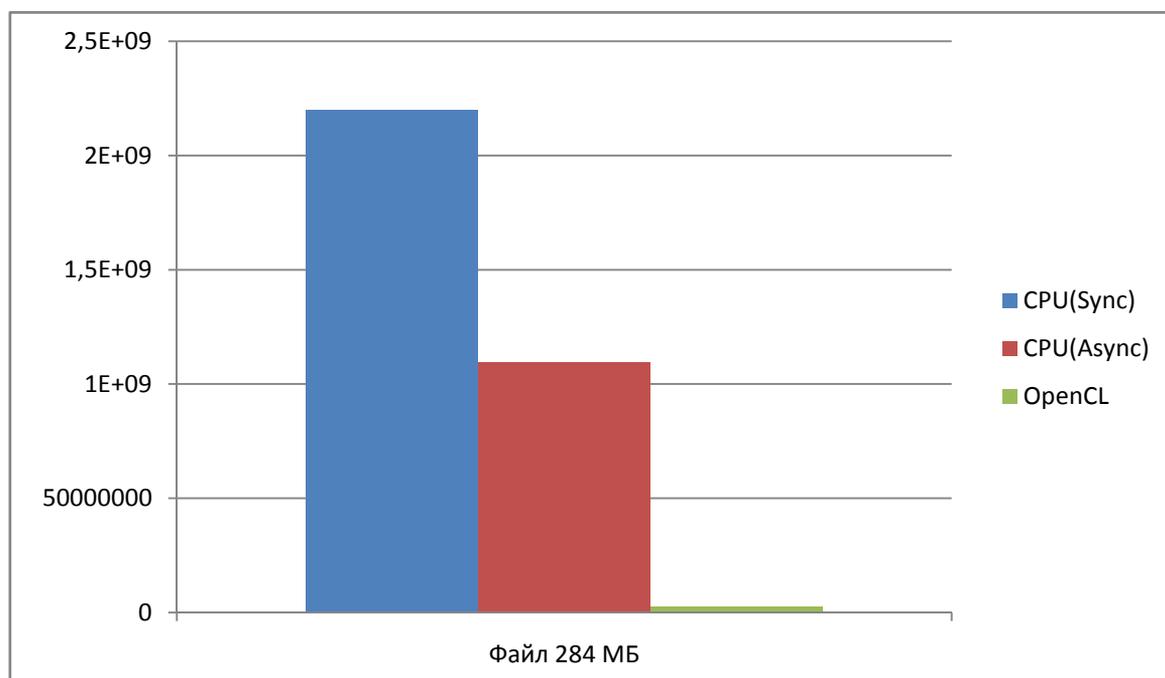


Рис. 3. Среднее время выполнения программы на файле размером 284 МБ

На основании проведенных численных экспериментов можно сделать вывод, что существует класс задач, для решения которых архитектура GPGPU адаптирована наилучшим образом, особенно в сравнении с CPU.

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛУПОЛЕВЫХ ПЛОСКОСТЕЙ РАНГА 3 НАД ПОЛЕМ ПРОСТОГО ПОРЯДКА

С.В. Панов

Научный руководитель О.В. Кравцова

Сибирский федеральный университет

Проективной плоскостью π называется совокупность элементов двух типов: точки и прямые, с отношением инцидентности между ними, которое удовлетворяет следующим условиям:

- 1) любые две различные точки инцидентны с единственной прямой;
- 2) любые две различные прямые инцидентны с единственной точкой;
- 3) существуют четыре различные точки такие, что никакие три из них не инцидентны с одной прямой.

Изоморфизмом проективной плоскости π_1 на проективную плоскость π_2 называется взаимно однозначное отображение точек π_1 в точки π_2 , прямых π_1 – в прямые π_2 , сохраняющее отношение инцидентности. Изоморфизм плоскости на себя называется *автоморфизмом (коллинеацией)*.

На любой проективной плоскости можно ввести координаты, используя элементы некоторого множества. Алгебраические свойства этого множества определяют геометрические свойства плоскости и строение полной группы автоморфизмов. Пусть координатизирующее множество является полуполем, тогда соответствующая плоскость называется полуполево́й. Ее можно задать при помощи линейного пространства и множества невырожденных матриц, называемого регулярным множеством.

Целью данной работы является построение и исследование полуполево́вых плоскостей, которые задаются при помощи матриц размерности 3×3 над полем простого нечетного порядка. В этом случае все матрицы регулярного множества имеют вид:

$$\theta(x, y, z) = xE + yB + zC,$$

где x, y, z – элементы поля $GF(p)$, E – единичная матрица, $B =$

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ b_4 & b_5 & b_6 \end{pmatrix}, C = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 \\ c_1 & c_2 & c_3 \\ c_4 & c_5 & c_6 \end{pmatrix}; b_i, c_i – \text{элементы } GF(p).$$

Рассматривая случай $p = 3$, я построил 2016 наборов матриц B и C , т.е. 2016 полуполево́вых плоскостей порядка 27 описанного вида.

Если регулярное множество $R = \{\theta(x, y, z) \mid x, y, z \in GF(p)\}$ является полем, то соответствующая плоскость – дезаргова, классическая. Доказан следующий результат.

Теорема 1. Пусть регулярное множество полуполево́й плоскости имеет вид $R = \{\theta(x, y, z) = xE + yB + zC \mid x, y, z \in GF(p)\}$. Тогда следующие условия эквивалентны:

- 1) R – поле,
- 2) $B^2 \in R, B^3 \in R,$
- 3) $C^2 \in R, C^3 \in R.$

Проверив эти условия, выделим среди 2016 построенных полуполево́вых плоскостей 144 дезарговы. Для остальных плоскостей регулярное множество полем не является; правое, левое и среднее ядра этих плоскостей имеют порядок 3 и состоят только из скалярных матриц.

Правое, среднее и левое ядра полуполево́й плоскости – это множества

$$R_r = \{\theta_r \in R \mid \forall \theta \in R \theta \cdot \theta_r \in R\},$$

$$R_m = \{\theta_m \in R \mid \forall \theta \in R \theta_m \cdot \theta \in R\},$$

$$R_l = \{M \mid \forall \theta \in R \theta \cdot M = M \cdot \theta\}$$

соответственно. Правое и среднее ядра являются подполями регулярного множества, левое ядро – подполе в кольце матриц.

В ходе исследования подтвердился следующий факт, что для дезарговых плоскостей справедливо равенство $R = R_l = R_m = R_r$.

Следующим этапом работы было разбиение множества всех плоскостей на классы изоморфных между собой. В общем случае изоморфизм полуполево́вых плоскостей задается полулинейным преобразованием векторного пространства:

$$x \rightarrow x^\varphi A,$$

где φ – автоморфизм поля $GF(p)$, A – квадратная матрица над $GF(p)$.

В нашем случае, так как поле простого порядка, $\varphi \equiv 1$ и изоморфизм задается линейным произведением, $x \rightarrow xA$. Доказан критерий изоморфности двух полуполево́вых плоскостей ранга 3 над полем простого порядка.

Теорема 2. Пусть π и π' – две полуполево́вые плоскости с регулярными множествами

$$R = \{\theta(x, y, z) = xE + yB + zC \mid x, y, z \in GF(p)\},$$

$$R' = \{\theta'(x, y, z) = xE + yB' + zC' \mid x, y, z \in GF(p)\}$$

соответственно. Эти плоскости изоморфны тогда и только тогда, когда существуют две невырожденные матрицы G и D такие, что выполняются следующие условия:

- 1) $GD \in R'$;
- 2) $GBD \in R'$;
- 3) $GCD \in R'$.

Расчеты показали, что 2016 построенных плоскостей образуют два класса плоскостей, попарно изоморфных: все 144 дезарговы плоскости изоморфны между собой, все 1872 недезарговы плоскости также изоморфны. Таким образом, доказан результат.

Теорема 3. Существует единственная недезаргова полуполева плоскость порядка 27.

Далее при использовании доработанной программы для поиска изоморфизмов для каждой из плоскостей были найдены автоморфизмы, заданные блочно-диагональными матрицами вида $\begin{pmatrix} G & 0 \\ 0 & D \end{pmatrix}$. Такие матрицы образуют группу автотопизмов плоскости (преобразований, фиксирующих треугольник). Для дезарговой плоскости порядок группы автотопизмов равен 2028, а для недезарговой – 156.

Следующий этап исследования построенных плоскостей – изучение строения группы автотопизмов и полной группы коллинеаций. Заметим, что описанная методика построения регулярного множества и линейных изоморфизмов может быть применена для полуполевых плоскостей произвольного порядка за счет перехода к векторному пространству большей размерности над полем простого порядка.

УДК 519.145

ВОПРОС О ПОДГРУППЕ КОЛЛИНЕАЦИЙ ПОЛУПОЛЕВОЙ ПЛОСКОСТИ, ИЗОМОРФНОЙ A_4

В.О. Прамзина

Научный руководитель О.В. Кравцова

Сибирский федеральный университет

Пусть $W = \{(x_1, x_2) | x_i \in GF(p^n), i = 1, 2\}$ – линейное пространство размерности 2 над конечным полем порядка p^n , где p – простое нечетное число, $R^* = \{\theta(u_1, u_2) | u_i \in GF(p^n), i = 1, 2\}$ – множество из $p^{2n} - 1$ невырожденных матриц, замкнутое по сложению, тогда $R = R^* \cup \{\theta_0 = 0\}$ – регулярное множество полуполева плоскости π . Матрицы регулярного множества R однозначно определяются любой своей строкой, поэтому можно считать, что

$$\theta_u = \theta(u_1, u_2) = \begin{pmatrix} u_1 & u_2 \\ f(u_1, u_2) & g(u_1, u_2) \end{pmatrix},$$

где $f(u_1, u_2), g(u_1, u_2)$ – некоторые аддитивные функции.

Алгебраические свойства регулярного множества определяют геометрические свойства соответствующей полуполевого плоскости.

Большое внимание обычно уделяется исследованию группы автоморфизмов полуполевого плоскости. В частности, существует гипотеза о разрешимости полной группы автоморфизмов.

Известно, что полная группа коллинеаций полуполевого плоскости представляет собой полупрямое произведение: $Aut \pi = T \ltimes G$, T – группа трансляций, G – трансляционное дополнение. Трансляции – автоморфизмы, действующие параллельными сдвигами, $x \rightarrow x + a$, трансляционное дополнение – подгруппа автоморфизмов, фиксирующая точку $(0,0)$. Подгруппа G_0 линейных преобразований векторного пространства W в группе G называется линейным трансляционным дополнением.

Целью настоящей работы является решение вопроса о существовании в G и G_0 подгруппы, изоморфной знакопеременной группе A_4 . Примеры полуполевого плоскостей четного порядка (т.е для $p = 2$), допускающих A_4 , существуют. Рассмотрим случай нечетного порядка p .

Известно, что элементы порядка 2 в полной группе коллинеаций могут быть либо центральными коллинеациями, либо бэровскими коллинеациями. Центральная коллинеация фиксирует поточечно некоторую прямую (ось), оставляет на месте некоторую точку (центр) и все прямые, проходящие через эту точку. Бэровская коллинеация фиксирует бэровскую подплоскость, т.е подплоскость максимального порядка.

Центральные коллинеации порядка 2 для полуполевого плоскости нечетного порядка не могут быть сопряжены, поэтому подгруппа коллинеаций, изоморфная A_4 , не может содержать центральные коллинеации. Следует отметить, что проведенные рассуждения не зависят от размерности матриц, поэтому результат справедлив для плоскостей произвольного ранга.

Занимаясь вопросом о наличии бэровской инволюции сначала в линейном трансляционном дополнении, потом в трансляционном дополнении, удалось показать тот же результат.

Теорема. Если π – полуполевого плоскость ранга 2 над конечным полем нечетного порядка p^n , то трансляционное дополнение плоскости π не содержит подгруппы, изоморфной знакопеременной группе A_4 .

Доказанный результат имеет большое теоретическое значение. Методика доказательства может быть применена и для полуполевого плоскости произвольного ранга. Однако для матриц произвольной размерности возникает необходимость рассмотрения некоторых особых случаев.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ В ЭВЕНТОЛОГИИ

О.А. Комарова

Научный руководитель И.В. Баранова

Сибирский федеральный университет

1. Введение

Термин Data Mining получил свое название из двух понятий: поиска ценной информации в большой базе данных(Data) и добычи горной руды (Mining). Термин переводится как "добыча" или "раскопка" данных. Data Mining – мультидисциплинарная область, возникшая и развивающаяся на базе прикладной статистики, искусственного интеллекта, теории баз данных и др. Технологию Data Mining достаточно точно определяет Григорий Пиатецкий Шапиро.

Data Mining – это процесс обнаружения в сырых данных ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретаций знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности.

Это технология, которая предназначена для поиска в больших объемах данных неочевидных, объективных и полученных на практике закономерностей.

2. Стадии Data Mining

Data Mining состоит из стадий:

1. Выявление закономерностей (свободный поиск)

На этой стадии осуществляется исследование набора данных с целью поиска скрытых закономерностей. Свободный поиск представлен такими действиями: выявление закономерностей условной логики, выявление закономерностей ассоциативной логики, выявление трендов и колебаний.

2. Прогностическое моделирование

Использует результаты работы первой стадии. Действия: предсказание неизвестных значений, прогнозирование развития процессов. В дополнение к этим стадиям иногда вводят валидацию, следующую за стадией свободного поиска. Цель валидации – проверка найденных закономерностей.

3. Анализ исключений

Анализ исключений или аномалий, выявленных в найденных закономерностях. Действия: выявление отклонений. Для выявления необходимо определить норму, которая рассчитывается на стадии свободного поиска.

3. Основные задачи и области применения Data Mining

1. Классификация (Classification)

2. Кластеризация (Clustering)
3. Ассоциация (Associations)
4. Прогнозирование (Forecasting)
5. Оценивание (Estimation)
6. Визуализация (Visualization, Graph Mining)
7. Подведение итогов (Summarization) .

Сфера применения Data Mining ничем не ограничена, она применима везде, где существуют данные:

- Розничная торговля
- Банковское дело
- Телекоммуникации
- Страхование
- Приложения в бизнесе
- Медицина
- Молекулярная генетика и геновая инженерия
- Прикладная химия.

4. Основы ассоциативных правил в Data Mining

В ходе решения задачи поиска ассоциативных правил отыскиваются закономерности между связанными событиями в наборе данных. Отличие ассоциации от других задач Data Mining – поиск закономерностей осуществляется не на основе свойств анализируемого объекта, а между несколькими событиями, которые происходят одновременно. Наиболее известный алгоритм решения задачи поиска ассоциативных правил – алгоритм Apriori.

Рассмотрим метод ассоциативных правил в интеллектуальном анализе данных.

Основные понятия:

1. Транзакция – это множество событий, которые произошли одновременно.

2. Транзакционная (операционная) база данных представляет собой двумерную таблицу, которая состоит из номера транзакции (TID) и перечня событий, происходящих во время этой транзакции

3. Поддержка – количество или процент транзакций, содержащих определенный набор данных.

Обозначения, используемые в алгоритме:

L_k – множество k -элементных наборов, чья поддержка не меньше заданной пользователем.

S_k – множество k -элементных наборов потенциально частых.

Алгоритм

Шаг 1. Присвоить $k = 1$ и выполнить отбор всех 1-элементных наборов, у которых поддержка больше минимально заданной пользователем $Suppmin$.

Шаг 2. $k = k + 1$.

Шаг 3. Если не удастся создавать k -элементные наборы, то завершить алгоритм, иначе выполнить следующий шаг.

Шаг 4. Создать множество k -элементных наборов кандидатов из частых наборов. Для этого необходимо объединить в k -элементные кандидаты $(k-1)$ -элементные частые наборы. Каждый кандидат будет формироваться путем добавления к $(k-1)$ – элементному частому набору – p элемента из другого $(k-1)$ -элементного частого набора – q . Причем добавляется последний элемент набора q , который по порядку выше, чем последний элемент набора p .

При этом все $k-2$ элемента обоих наборов одинаковы.

Шаг 5. Для каждой транзакции T из множества D выбрать кандидатов S_t из множества S_k , присутствующих в транзакции T . Для каждого набора из построенного множества S_k удалить набор, если хотя бы одно из его $(k-1)$ подмножеств не является часто встречающимся, т.е. отсутствует во множестве L_{k-1} .

Шаг 6. Для каждого кандидата из S_k увеличить значение поддержки на единицу.

Шаг 7. Выбрать только кандидатов L_k из множества S_k , у которых значение поддержки больше заданной пользователем $Suppmin$. Вернуться к шагу 2.

Результатом работы алгоритма является объединение всех множеств L_k для всех k .

5. Метод ассоциативных правил на языке эвентологии

Теперь сформулируем метод ассоциативных правил на языке эвентологии.

Основные понятия:

1. $X = \{a, b, \dots\}$ – множество случайных событий;

2. $p(x)$ – вероятность распределения

3. Сет – среднее случайного конечного абстрактного множества

$EK = \{x: p(x) \geq h\}$, для которого его мера μ (EK) наиболее близка к числу $\lambda = E \mu (K)$ – средней мере случайного множества K .

Средняя мера случайного множества K – математическое ожидание случайной величины – вычисляется по теореме Роббинса.

Алгоритм

1. Пусть задано $X = \{a, b, \dots\}$ – множество случайных событий; для каждого подмножества заданы вероятности распределения $p(x)$.

2. Вычислить индивидуальную вероятность моноплетов.

3. Найти сет-среднее.

4. Отбросить моноплеты, у которых индивидуальная вероятность меньше, чем вычисленное сет-среднее.

5. Вычислить индивидуальную вероятность дуплетов.
6. Определить сет-среднее.
7. Отбросить дуплеты, у которых индивидуальная вероятность меньше вычисленного сет-среднего.
8. Далее по всем слоям.

Рассмотрим пример: нам необходимо найти наиболее встречающиеся наборы товаров.

Есть $X = \{a, b, c, \dots\}$, где

хлеб = a, молоко = b, печенье = c, сметана = d, колбаса = e, конфеты =

f. Задано распределение вероятности.

$\{a, b, c\}$; $\{a, b, c\}$; $\{b, d\}$; $\{b, d\}$; $\{b, d\}$; $\{a, b, c, d\}$; $\{a, b, c, d\}$; $\{d, e\}$; $\{d, e\}$; $\{d, e\}$; $\{f\}$; $\{f\}$; $\{f\}$; $\{b, e\}$; $\{b, e\}$; $\{a, b, e\}$; $\{a, b, e\}$.

Считаем индивидуальные вероятности:

$$p(a) = 0.1538$$

$$p(b) = 0.282$$

$$p(c) = 0.1026$$

$$p(d) = 0.2051$$

$$p(e) = 0.1795$$

$$p(f) = 0.076$$

Вычисляем сет-среднее $EK = 0,179$. У нас остаются моноплеты $\{b\}$, $\{d\}$, $\{e\}$.

$$p(bd) = 0,15625$$

$$p(be) = 0,125$$

$$p(de) = 0,093$$

$$EK = 0,125.$$

Получаем $\{b, c, d\}$ – часто встречающийся набор товаров.

УДК 330

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОМПАНИИ С ОПТИМАЛЬНОЙ РЫНОЧНОЙ СТРАТЕГИЕЙ

О.С. Форст

Научный руководитель И.В. Баранова

Сибирский федеральный университет

В статье рассмотрено применение эвентологического подхода к решению задачи определения компании с оптимальной стратегией. Предложенная задача решается на примере четырех мебельных производителей. Использование случайно-множественных методов позволяет

сформировать оптимальную товарную политику фирмы. При планировании ассортимента продукции применяется матрица Бостонской консультационной группы как один из инструментов стратегического анализа и планирования.

Эвентологическая модель рынка

В основе эвентологической модели рынка лежат обобщенные гиббсовские эвентологические распределения, возникающие в эвентологическом расширении Н-теоремы Больцмана.

Пусть (Ω, F, P) – эвентологическое пространство, $\chi \subseteq F$ – конечное множество событий; $U : 2^\chi \rightarrow R_+$ – неотрицательная, ограниченная сет-функция на 2^χ , которая интерпретируется как функция ценности наступления множества событий $X \subseteq \chi$.

Формулы для обобщенных гиббсовских Э-распределений:

$$p(X) = \frac{1}{Z} \exp\{-\alpha U(X)\}, X \subseteq \chi,$$

где под α понимается один из коэффициентов $\alpha^\downarrow < 0, \alpha^\uparrow < 0$, а под Э-распределением p понимается либо Э-распределение спроса: p^\downarrow , либо Э-распределение предложения: p^\uparrow .

Мультиковариационное представление сет-функции ценности

Обоснованием Э-модели рынка является эвентологическое расширение Н-теоремы Больцмана.

Теорема 1. Эвентологическое расширение Н-теоремы Больцмана о максимуме энтропии обобщенных гиббсовских Э-распределений.

Пусть Э-распределение $p(X)$ на 2^χ обеспечивает среднее значение функции ценности $U(X)$ на заданном уровне:

$$\langle U(X) \rangle = \sum_{X \subseteq \chi} p(X) U(X),$$

тогда максимум энтропии:

$$H = - \sum_{X \subseteq \chi} p(X) \ln p(X),$$

среди этих Э-распределений достигается на Э-распределениях вида:

$$p(X) = \frac{1}{Z} \exp\{-\alpha U(X)\}, X \subseteq \chi, \alpha \in R,$$

которые называются обобщенными гиббсовскими Э-распределениями. При этом, если α^\downarrow , то p^\downarrow – это гиббсовское Э-распределение спроса, если α^\uparrow , то p^\uparrow – это противоположное гиббсовское Э-распределение предложения.

Кроме эвентологического расширения Н-теоремы Больцмана известна также следующая теорема о максимуме энтропии Э-распределений, удовлетворяющих дополнительным ограничениям на небольшой набор вероятностей рыночных событий.

Теорема 2. О максимуме энтропии мультипликативно – усеченных распределений.

Среди Э-распределений $\{p(X), X \subseteq \chi\}$ множества событий X , в которых на подмножествах событий $X \subseteq \chi$ с мощностью, ограниченной сверху константой $n < |\chi|$, зафиксированы вероятности:

$$p_X^* = p\left(\bigcap_{x \in X} \cdot\right), |X| \leq n,$$

максимальную энтропию имеет Э-распределение вида:

$$p(X) = \prod_{Y \subseteq X, |Y| \leq n} \tau^*(Y),$$

где τ^* – фиксированные мультиковариации, вычисляемые по формуле мультипликативного обращения Мебиуса.

Решение задачи

Решение задачи основывается на статистике Э-распределений вероятностей выпуска различных подмножеств ассортимента продукции $p(X)$ и Э-распределений ценности данных подмножеств для компаний. Для каждой компании проводится сравнение ее стратегии с реальной. Компания с наименьшим значением расстояния от идеальной стратегии будет являться оптимальной.

Также для решения задачи предлагается заменить классическую матрицу БКГ на трехмерную. Матрица БКГ – это трехмерная матрица, координатами которой служат комплексные показатели: привлекательность рынка товара, конкурентная позиция предприятия и конкурентоспособность товара. Критерии, оценки и источники информации выбраны исходя из основных направлений маркетинговых исследований при формировании товарной политики. Оценка конкурентной позиции предприятия осуществляется на основе анализа собственных возможностей по сравнению с конкурентами. Расчет показателя привлекательность рынка требует данных о динамике рынка товаров. При этом учитываются внешние факторы,

а именно государственная политика, риск и др. Показатель конкурентоспособность товара оценивается с помощью технико-экономических показателей собственных товаров и товаров-конкурентов. Методика расчета комплексных показателей основана на балльных оценках критериев и их коэффициентах значимости, устанавливаемых экспертами. Балльные оценки, предоставляемые экспертами, принимают значения от 1 до 10.

Введем следующие обозначения:

n – количество товаров, рассматриваемых в ассортиментной политике;

t – индекс товара, $t=1..n$; k – номер комплексного показателя, $k=1,2,3$;

I_k – количество критериев, используемых для расчета k -го показателя;

i – номер критерия, $i=1 \dots I_k$;

V_{ik} – вес критерия по k -му показателю, $V_{ik} = 1..10$;

Z_{ikt} – значение i -го критерия по k -му показателю товара t (балльная оценка). Фактическая оценка i -го критерия по k -му показателю товара t с учетом весовых коэффициентов: $S_{ikt} = V_{ik} \times Z_{ikt}$.

Идеальное, т.е. максимальное или наилучшее значение i -го критерия по k -му показателю товара t с учетом весовых коэффициентов: $S_{ikt}^0 = V_{ik} \times 10$.

Значение k -го показателя по товару t , выраженное в процентах, рас-

считывается по формуле $R_{kt} = 100 \frac{\sum_{i=1}^{I_k} S_{ikt}}{\sum_{i=1}^{I_k} S_{ikt}^0}$, где $k=1,2,3$.

Значения комплексных показателей R_{1t}, R_{2t}, R_{3t} попадают в один из интервалов: от 0 до 33, от 33 до 67, от 67 до 100. Вследствие такого разбиения значений показателей на 3 интервала анализируемый товар занимает одно из 27 возможных положений в трехмерной матрице позиционирования товара. Номера кубиков данной матрицы соответствуют номерам маркетинговых стратегий, которые рекомендуется применять при планировании товарного ассортимента. Выделяют 5 основных стратегий 22 дополнительные, развивающие и конкретизирующие основные стратегии. Они служат для выработки действий предприятия в части изменения рыночной доли, проведения инвестиционной, программной и сбытовой политики в соответствии с занимаемым статусом товара.

Построение матрицы выигрышей: значения матрицы выигрышей для фирм находим как расстояния между точками в трехмерном единичном кубе по формуле:

$$r = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2},$$

где $(x_1x_2x_3)(y_1y_2y_3)$ – координаты товаров в кубе, r – расстояние между товарами в кубе. И в зависимости от стратегии, рекомендованной товару, расстояние умножаем на коэффициент (вес стратегии определенный экспертами).

УДК 519.85

О ЗАДАЧЕ РАЗМЕЩЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Ю.С. Кочанова

Научный руководитель Д.В. Семенова

Сибирский федеральный университет

Задачи размещения и распределения объектов часто возникают на практике и издавна привлекают внимание специалистов. Впервые одну из таких задач поставил Ферма в XVII в. Она заключалась в поиске такой точки на плоскости, сумма расстояний от которой до трех заданных точек была минимальна.

В самой общей постановке задача размещения-распределения объектов состоит в определении числа новых объектов и координат их размещения, а также в распределении перевозок между новыми и существующими объектами. В работе решение задачи размещения-распределения объектов предполагает определение координат размещения новых объектов таким образом, чтобы стоимость транспортировки от объектов к потребителям была минимальной. В статье рассматривается постановка транспортной задачи, квадратичной задачи о назначениях, задачи Штейнера-Вебера, приведены способы их решения. Наиболее подробно рассмотрена задача о размещении и распределении объектов с точки зрения неопределенного программирования.

При формировании модели размещения-распределения объектов будем использовать следующие индексы, параметры, переменные: $i = 1, 2, \dots, n$: объекты; $j = 1, 2, \dots, m$: потребители; (a_j, b_j) : координаты размещения j -го потребителя; ξ_j : случайный спрос j -го потребителя; s_i : производительность i -го объекта, $1 \leq i \leq n$; (x_i, y_i) : варьируемые переменные, представляющие координаты размещения i -го объекта; z_{ij} : объем поставок от объекта i потребителю j после того, как величины случайного спроса ξ_j приняли конкретные значения.

Предположим, что вектор спроса $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ определен на вероятностном пространстве $(\Omega, \mathcal{A}, \mathbf{P})$. Для каждого $\omega \in \Omega$ вектор $\zeta(\omega)$ является

реализацией случайного вектора ξ . Обозначим допустимое множество размещений объектов как

$$Z(\omega) = \left\{ \begin{array}{l} z_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \\ \sum_{i=1}^n z_{ij} = \xi_j(\omega), \quad j = \overline{1, m}, \\ \sum_{j=1}^m z_{ij} \leq s_i, \quad i = \overline{1, n}. \end{array} \right. \quad (1)$$

Требуется минимизировать стоимость, т.е.

$$C(x, y) = \min_{z \in Z(\omega)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{ij} \sqrt{(x_i - a_i)^2 + (y_i - b_i)^2}. \quad (2)$$

Задача (2) с ограничениями вида (1) решается методом неопределенного программирования.

Следует заметить, что эта модель отличается от традиционных моделей стохастического программирования наличием в ней подзадачи вида:

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{z \in Z(\omega)} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m z_{ij} \sqrt{(x_i - a_i)^2 + (y_i - b_i)^2}, \\ \sum_{i=1}^n z_{ij} = \xi_j(\omega), \quad j = \overline{1, m}, \\ \sum_{j=1}^m z_{ij} \leq s_i, \quad i = \overline{1, n}, \\ z_{ij} \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \end{array} \right. \quad (3)$$

Здесь параметры x_i , y_i и $\xi_j(\omega)$ являются фиксированными действительными числами при $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, чтобы минимизировать ожидаемую стоимость транспортировки, была предложена следующая EVM-модель.

1. Моделируем вектор спроса в зависимости от распределения.
2. Фиксируем расстояния между объектами.
3. Решаем задачу (3) симплекс-методом.
4. Получаем значение стоимости C .
5. Повторяем шаги 1-4 N раз, где $N \gg 100$ и находим среднее значение C .

Далее для решения задач с использованием представленной модели применяем гибридный алгоритм, с помощью которого вычисляем неопределенную функцию и находим координаты оптимального размещения объектов, применяя процедуру статистического моделирования.

О ПРЕДСТАВЛЕНИИ РЕШЕНИЯ ОДНОЙ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МНОГОМЕРНОГО ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ

Г.В. Романенко
Научный руководитель И.В. Фроленков
Сибирский федеральный университет

В статье исследована корректность обратной задачи для многомерного параболического уравнения. Существование и единственность решения доказаны в классе гладких ограниченных функций. Для приведения обратной задачи к прямой используем подход, предложенный Ю.Е. Аниконовым в работе «О методах исследования многомерных обратных задач для эволюционных уравнений». Используем условия переопределения специального вида. Исходная обратная задача разбивается на две задачи, одна из которых является обычной задачей Коши для параболического уравнения, а вторая содержит выражение для неизвестного коэффициента. Существование решения прямой задачи доказано методом слабой аппроксимации.

Рассмотрим в области $G_{[0,T]} = \{(t, x, z) \mid x \in R^n, z \in R, 0 \leq t \leq T\}$ задачу Коши для параболического уравнения

$$u_t = a(t)u_{zz}(t, x, z) + b(t)\Delta_x u(t, x, z) + \lambda(t, z)B_z(u),$$

где $B_z(u) = c_1(t)u_{zz}(t, x, z) + c_2(t)u_z(t, x, z) + c_3(t)u(t, x, z)$, с начальным условием

$$u(0, x, z) = u_0(x, z).$$

Функции $a(t), b(t), c(t)$ – непрерывные, ограниченные на $[0, T]$, причем $a(t) \geq a_0 > 0$, $b(t) \geq b_0 > 0$, $c_i(t) > 0$ ($i = 1, 2$). Функция $u_0(x, z)$ действительная и задана в R^{n+1} .

Функция $\lambda(t, z)$ подлежит определению одновременно с решением $u(t, x, z)$ задачи Коши.

Выполнено условие переопределения $u(t, 0, z) = \psi(t, z)$ и условие согласования $u_0(0, z) = \psi(0, z)$.

Считаем выполненным условие

$$|B_z(\psi)| = |c_1(t)\psi_{zz}(t, z) + c_2(t)\psi_z(t, z) + c_3(t)\psi(t, z)| \geq \mu > 0, \quad \mu - const.$$

Частным случаем теоремы, сформулированной Ю.Е. Аниконовым, является следующая теорема.

Теорема: Если существуют решения $\varphi(t, x)$ и $f(t, z)$ следующих задач Коши

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varphi}{\partial t} &= b(t)\Delta_x \varphi(t, x), \quad \varphi(0, x) = \omega_0(x), \\ \frac{\partial f}{\partial t} &= a(t)f_{zz}(t, z) + B_z(f) \frac{\psi_t(t, z) - a(t)\psi_{zz}(t, z) - f(t, z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)}, \\ f(0, z) &= v_0(z), \end{aligned}$$

то функции $\lambda(t, z)$ и $u(t, x, z)$, определенные формулами

$$\begin{aligned} u(t, x, z) &= \varphi(t, x)f(t, z), \\ \lambda(t, z) &= \frac{\psi_t(t, z) - a(t)\psi_{zz}(t, z) - f(t, z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)}, \end{aligned}$$

есть решение исходной обратной задачи в предположении, что $u_0(t, x, z) = \omega_0(x)v_0(z)$.

Для доказательства существования решения задачи

$$\begin{aligned} \frac{\partial f}{\partial t} &= a(t)f_{zz}(t, z) + B_z(f) \frac{\psi_t(t, z) - a(t)\psi_{zz}(t, z) - f(t, z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)}, \\ f(0, z) &= v_0(z), \end{aligned}$$

рассмотрим вспомогательную задачу

$$\frac{\partial f}{\partial t} = a(t)f_{zz}(t, z) + B_z(f)S_\delta \left(\frac{\beta(t, z) - f(t, z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)} \right), \quad f(0, z) = v_0(z),$$

здесь $\beta(t, z) = \psi_t(t, z) - a(t)\psi_{zz}(t, z)$ – это известная функция, $S_\delta(\theta)$ – функция срезки, определенная в R , сколь угодно раз непрерывно дифференцируемая и обладающая свойствами:

$$S_\delta \geq \frac{\delta}{3} > 0, \quad \theta \in R, \quad S_\delta(\theta) = \begin{cases} \theta, & \text{при } \theta \geq \frac{\delta}{2}, \\ \frac{\delta}{3}, & \text{при } \theta \geq \frac{\delta}{3}. \end{cases}$$

Определению подлежит функция $f(t, z)$. Функция $v_0(z)$ действительная и задана в R . Функция $S_\delta^{(k)}(\theta) \leq 2$, $k = 1, \dots, 4$.

Для доказательства существования решения вспомогательной задачи используем метод слабой аппроксимации. Фиксируем постоянную $\tau > 0$ такую, что $\tau N = T$. Разбиваем задачу на три дробных шага и линеаризуем задачу сдвигом по переменной t на величину $\frac{\tau}{3}$.

$$f_t^\tau(t, z) = 3a(t)f_{zz}^\tau(t, z), \quad n\tau < t \leq \left(n + \frac{1}{3}\right)\tau,$$

$$f_t^\tau(t, z) = 3(c_1(t)f_{zz}^\tau(t, z) + c_2(t)f_z^\tau(t, z))S_\delta(\lambda^\tau(t, z)), \quad \left(n + \frac{1}{3}\right)\tau < t \leq \left(n + \frac{2}{3}\right)\tau,$$

$$f_t^\tau(t, z) = 3c_3(t)f^\tau(t, z)S_\delta(\lambda^\tau(t, z)), \quad \left(n + \frac{2}{3}\right)\tau < t \leq (n+1)\tau,$$

$$f^\tau(0, z) = v_0(z), \quad n = 0, 1, 2, \dots, (N-1), \quad N\tau = T,$$

где

$$\lambda^\tau(t, z) = \frac{\beta(t, z) - f^\tau\left(t - \frac{\tau}{3}, z\right)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)}.$$

Относительно функций $v_0(z)$, $\psi(t, z)$ предположим, что они достаточно гладкие, имеют все непрерывные производные, входящие в следующее соотношение и удовлетворяют ему:

$$\left| \frac{d^k}{dz^k} v_0(z) \right| + \left| \frac{\partial^i}{\partial z^i} \psi(t, z) \right| + \left| \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^k}{\partial z^k} \psi(t, z) \right| \leq C, \quad k = 0, \dots, 4, \quad i = 0, \dots, 6.$$

В статье доказаны априорные оценки, гарантирующие компактность семейства $f^\tau(t, z)$ расщепленной задачи в классе гладких непрерывных функций. В области $G_{[0, t^*]}$ справедливы равномерные по τ оценки

$$\left| \frac{\partial^k}{\partial z^k} f^\tau(t, z) \right| \leq C, \quad k = 0, \dots, 4.$$

Здесь $0 < t^* \leq T$ – некоторая константа, зависящая от постоянных, ограничивающих входные данные.

В итоге получаем, что справедлива равномерная по τ оценка

$$\left| f_t^\tau(t, z) \right| \leq C, \quad (t, z) \in G_{[0, t^*]}.$$

Дифференцируя уравнения расщепленной задачи по переменной z один или два раза, получим равномерные по τ оценки

$$\left| f_{tz}^\tau(t, z) \right| + \left| f_{tzz}^\tau(t, z) \right| \leq C, \quad (t, z) \in G_{[0, t^*]},$$

что вместе с ранее полученными равномерными по τ оценками гарантирует выполнение условий теоремы Арцела о компактности.

В силу теоремы Арцела о компактности некоторая подпоследовательность $f^{\tau_k}(t, z)$ последовательности $f^\tau(t, z)$ решений расщепленной задачи сходится вместе с производными по z до второго порядка включительно к функции $f(t, z) \in C_{t,z}^{0,2}(G_{[0, t^*]})$.

На основании теоремы МСА, $f(t, z)$ – решение вспомогательной задачи, причем

$$f(t, z) \in C_{t,z}^{1,2}(G_{[0, t^*]}),$$

где
$$C_{t,z}^{1,2}(G_{[0, t^*]}) = \left\{ f(t, z) \left| f_t(t, z), \frac{\partial^k}{\partial z^k} f(t, z) \in C(G_{[0, t^*]}), k = 0, 1, 2. \right. \right\}$$

При этом

$$\left| \frac{\partial^k}{\partial z^k} f^\tau(t, z) \right| \leq C, \quad k = 0, 1, 2.$$

В предположении, что выполняется условие при $(t, z) \in G_{[0, t^*]}$

$$\frac{\beta(t, z) - v_0(z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)} \geq \delta,$$

доказано, что

$$\frac{\beta(t, z) - f(t, z)\varphi_t(t, 0)}{B_z(\psi)} \geq \frac{\delta}{2}.$$

Из определения срезающей функции $S_\delta(\theta)$ и последней оценки следует, что $f(t, z)$ – решение исходной прямой задачи.

Таким образом, доказано существование решения функции $f(t, z)$ прямой задачи в классе $C_{t,z}^{1,2}(G_{[0, t^*]})$. Единственность решения прямой задачи показана путем доказательства тождественного равенства нулю в $G_{[0, t^*]}$ разности двух предполагаемых решений.

Справедлива

Теорема: Пусть выполняются предположенные выше условия. Тогда решение $f(t, z)$ прямой задачи в классе

$$C_{t,z}^{1,2}(G_{[0,t^*]}) = \left\{ f(t, z) \left| f_t(t, z), \frac{\partial^k}{\partial z^k} f(t, z) \in C(G_{[0,t^*]}), k=0,1,2 \right. \right\},$$

удовлетворяющее соотношению $\sum_{k=0}^2 \left| \frac{\partial^k}{\partial z^k} f(t, z) \right| \leq C$, существует и единственно.

УДК 519.6

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ О ГРАНИЧНОЙ ФУНКЦИИ ДЛЯ УРАВНЕНИЙ МЕЛКОЙ ВОДЫ

Е.В. Дементьева
Научный руководитель Е.Д. Карпова
Сибирский федеральный университет

Модели мелкой воды хорошо описывают большой круг природных явлений, таких как крупномасштабные поверхностные волны, возникающие в морях и океанах, цунами, приливные течения, поверхностный и русловой сток, гравитационные колебания поверхности океанов.

Задача для уравнений мелкой воды ставится в области произвольной формы на сфере с достаточно гладкой границей. Граница области состоит из «твердых» участков – береговой линии и «жидких» участков – граница по морю. На части «жидкой» границы известны данные наблюдений за свободной поверхностью.

В общем случае граничные условия на «жидкой» границе содержат граничную функцию, которую следует найти вместе с неизвестными задачи – скоростями и возвышением свободной поверхности. В области поставлена задача на ассимиляцию данных наблюдений, для решения которой используются методы оптимизации и теории управления.

Рассмотрено два семейства задач оптимального управления для отыскания минимума в некоторой норме погрешности между искомым возвышением свободной поверхности и наблюдаемым с регуляризацией. Построен итерационный численный метод восстановления граничной функции и, следовательно, решения обратной задачи в области. Метод состоит в итерационном уточнении граничной функции путем численного решения последовательно прямой и сопряженной задач.

В качестве расчетной области была рассмотрена акватория Охотского моря и прилегающий к Курильским островам участок Тихого океана.

Поскольку в общем случае для нестационарной задачи начальные данные не известны, а рассматриваемая процедура не предполагает восстановления начальных данных, то в расчетной области была поставлена следующая задача. Сначала при заданной на всей "жидкой" границе граничной функции решалась задача на установление.

За данные "наблюдений" на части жидкой границы принимались значения свободной поверхности из установившегося решения, а значения граничной функции "забывались".

Цель численного эксперимента – восстановление граничной функции по всей жидкой границе на основе данных "наблюдений".

Обратная задача о граничной функции решалась с «гладкими» данными наблюдений (полученных из решения задачи на установление), с «зашумленными» данными наблюдений (с наложением белого шума на значения свободной поверхности из установившегося решения) и с данными наблюдений, заданными на части жидкой границы (рис. 1).

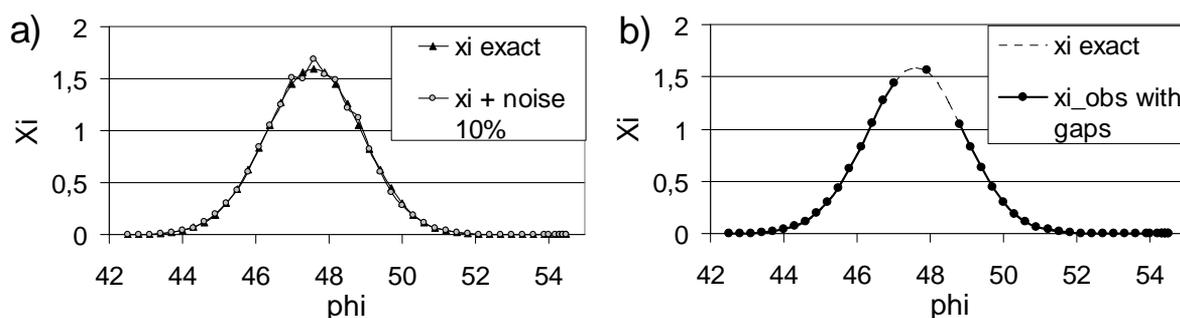


Рис. 1. Данные наблюдений на одной из жидких границ области:
 а) – гладкие и зашумленные, б) – заданные на части границы

На рис. 2 представлены результаты восстановления граничной функции \bar{d} в зависимости от числа итераций в случае, когда всюду на жидкой границе были заданы гладкие данные наблюдений за исключением множества точек, образующих два непересекающихся отрезка вдоль одной из жидких границ моря.

Численное решение прямой и сопряженных задач основано на методе конечных элементов, для чего реализовано параллельное программное обеспечение (ПО) с использованием технологий MPI. В работе проведено исследование эффективности нескольких параллельных реализаций алгоритма численного решения начально-краевой задачи для уравнений мелкой воды, выполненных с помощью библиотеки MPI для языка Си. Рассмотрено два подхода к декомпозиции вычислительной области и две схемы реализации двухточечных обменов в алгоритме. Приведены сравнительные результаты ускорения вычислений в за-

висимости от количества процессов, способа реализации коммуникаций, способа декомпозиции вычислительной области, архитектуры кластерной системы.

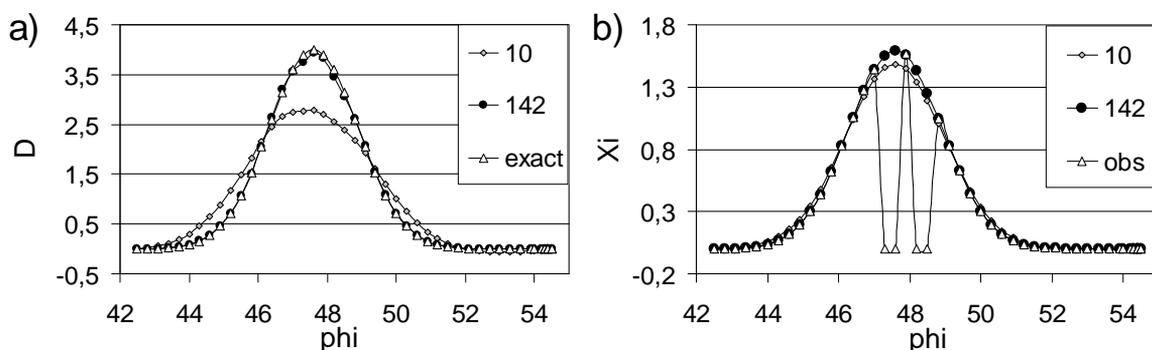


Рис. 2. Зависимость граничной функции d (a) и возвышения свободной поверхности $\bar{\xi}$ (b) на одной из жидких границ расчетной области от числа итераций с данными "наблюдений", заданными на части границы

В работе сопоставлена эффективность двух широкораспространенных реализаций стандарта MPI, исследовано поведение нашего ПО при использовании различных способов выделения памяти.

Авторы благодарят А.В. Малышева за помощь в проведении серии вычислительных экспериментов и за ценное обсуждение полученных результатов.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 11-01-00224-а).

УДК 735.29.(32)

АПРИОРНЫЕ ОЦЕНКИ СОПРЯЖЕННОЙ НАЧАЛЬНО-КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ

Е.Н. Лемешкова
Научный руководитель В.К. Андреев
Сибирский федеральный университет

1. Постановка задачи. Априорные оценки

При рассмотрении однонаправленного движения в плоских слоях $-l_1 < y < 0$, $0 < y < l_2$, $l_2 < y < l_3$ с общими границами раздела $y = 0$, $y = l_2$ и твёрдыми стенками $y = -l_1$, $y = l_3$ возникает следующая начально-краевая задача [1]:

$$u_{1t} = \nu_1 u_{1yy} - f_1(t), -l_1 < y < 0; \quad (1)$$

$$u_{2t} = \nu_2 u_{2yy} - f_2(t), 0 < y < l_2; \quad (2)$$

$$u_{3t} = \nu_3 u_{3yy} - f_3(t), l_2 < y < l_3; \quad (3)$$

$$u_j(y, 0) = 0, \quad (4)$$

$$\mu_1 u_{1y}(0, t) - \mu_2 u_{2y}(0, t) = 0, \quad (5)$$

$$\mu_2 u_{2y}(l_2, t) - \mu_3 u_{3y}(l_2, t) = 0, \quad (6)$$

$$u_1(0, t) = u_2(0, t), u_2(l_2, t) = u_3(l_2, t), \quad (7)$$

$$u_1(-l_1, t) = 0, u_3(l_3, t) = 0, \quad (8)$$

где функции $f_j(t)$ связаны равенствами $\rho_1 f_1 = \rho_2 f_2 = \rho_3 f_3$.

В (1) – (3), (5), (6) ν_j – кинематические вязкости, $\mu_j = \nu_j \rho_j$ – динамические вязкости, а ρ_j – плотности жидкостей, суть положительные постоянные ($j=1, 2, 3$).

Получим некоторые априорные оценки задачи (1) – (8). Умножим уравнения (1) – (3) на $\rho_1 u_1$, $\rho_2 u_2$, $\rho_3 u_3$ соответственно и проинтегрируем по y . Складывая полученные равенства с использованием граничных условий (5) – (8), приходим к соотношению – закону сохранения энергии

$$\begin{aligned} \frac{dE(t)}{dt} + \mu_1 \int_{-l_1}^0 u_{1y}^2 dy + \mu_2 \int_0^{l_2} u_{2y}^2 dy + \mu_3 \int_{l_2}^{l_3} u_{3y}^2 dy = \\ = \rho_1 f_1 \left(\int_{-l_1}^0 u_1 dy + \int_0^{l_2} u_2 dy + \int_{l_2}^{l_3} u_3 dy \right), \end{aligned} \quad (9)$$

где

$$E(t) = \frac{1}{2} \rho_1 \int_{-l_1}^0 u_1^2 dy + \frac{1}{2} \rho_2 \int_0^{l_2} u_2^2 dy + \frac{1}{2} \rho_3 \int_{l_2}^{l_3} u_3^2 dy \quad (10)$$

есть полная кинетическая энергия трёх слоёв.

Из (9), в частности, вытекает единственность решения задачи (1) – (8): если $f(t) = 0$, то и $u_1(y, t) = u_2(y, t) = u_3(y, t) \equiv 0$.

Равенство (9) позволяет установить при некоторых ограничениях на градиент давления асимптотическое поведение решения при $t \rightarrow \infty$. Действительно, для $u_1(y, t)$, $u_2(y, t)$, $u_3(y, t)$ справедливо обобщённое неравенство Фридрикса для составных областей

$$\int_{-l_1}^0 u_1^2 dy + \int_0^{l_2} u_2^2 dy + \int_{l_2}^{l_3} u_3^2 dy \leq$$

$$\leq M(\mu_1 \int_{-l_1}^0 u_{1y}^2 dy + \mu_2 \int_0^{l_2} u_{2y}^2 dy + \mu_3 \int_{l_2}^{l_3} u_{3y}^2 dy) \quad (11)$$

Используя неравенства (11), Евклида и Коши-Буняковского, из (9) получаем неравенство

$$\frac{dE(t)}{dt} + 2\delta E(t) \leq \delta_1 \sqrt{E(t)} |f(t)|, \quad (12)$$

где $\delta = \min\left(\frac{1}{\rho_1}, \frac{1}{\rho_2}, \frac{1}{\rho_3}\right) / M_0$, $\delta_1 = \sqrt{6} \max\left(\sqrt{\frac{l_1}{\rho_1}}, \sqrt{\frac{l_2}{\rho_2}}, \sqrt{\frac{l_3-l_2}{\rho_3}}\right)$, M_0 – минимальная положительная постоянная среди всех $M > 0$ из неравенства (11). В силу начальных условий (4) из (10) $E(t) = 0$, и (12) даёт оценку

$$E(t) \leq \frac{\delta_1^2}{4} \left(\int_0^t |f_1(t)| e^{\delta t} dt \right)^2 e^{-2\delta t}. \quad (13)$$

Следовательно, если сходится интеграл $\int_0^\infty |f_1(t)| e^{\delta t} dt \equiv \sqrt{C_1}$, то неравенство (13) примет вид $E(t) \leq \frac{\delta_1^2}{4} C_1 e^{-2\delta t}$ для всех $t \geq 0$. Поэтому желательно, чтобы в априорной оценке δ было как можно больше. Справедлива

Лемма. Имеет место неравенство (11) с постоянной M_0 , не зависящей от $u_j(y)$ и являющейся решением вариационной задачи

$$M_0 = \sup_{w_j \in V} \left[\frac{\int_{-l_1}^0 w_1^2 dy + \int_0^{l_2} w_2^2 dy + \int_{l_2}^{l_3} w_3^2 dy}{\mu_1 \int_{-l_1}^0 w_{1y}^2 dy + \mu_2 \int_0^{l_2} w_{2y}^2 dy + \mu_3 \int_{l_2}^{l_3} w_{3y}^2 dy} \right], \quad (14)$$

множество V – подпространство прямого произведения $W_2^1(-l_1, 0) \times W_2^1(0, l_2) \times W_2^1(l_2, l_3)$ и для $w_j(y)$ выполнены граничные условия (5) – (8).

Доказательство. Рассмотрим функционал

$$F(w_1, w_2, w_3) = \sup_{w_j \in V} \left[\frac{\int_{-l_1}^0 w_1^2 dy + \int_0^{l_2} w_2^2 dy + \int_{l_2}^{l_3} w_3^2 dy}{\mu_1 \int_{-l_1}^0 w_{1y}^2 dy + \mu_2 \int_0^{l_2} w_{2y}^2 dy + \mu_3 \int_{l_2}^{l_3} w_{3y}^2 dy} \right]. \quad (15)$$

Очевидно, что функция $f(\tau) = F(w_1 + \tau h_1, w_2 + \tau h_2, w_3 + \tau h_3)$ имеет производную при $\tau = 0$ для всех $h_j \in V, j = 1, 2, 3$, а F дифференцируем по Фреше. Тогда существует первая вариация по Лагранжу функционала F в точке (w_1, w_2, w_3) и $\delta F(w_1, w_2, w_3)(h_1, h_2, h_3) = f'(0)$ (первая вариация здесь не выписывается ввиду громоздкости).

Пусть теперь на w_j достигается равенство (14). Имеем $F(w_1, w_2, w_3) = M_0$ и $\delta F(w_1, w_2, w_3)(h_1, h_2, h_3) = 0$. Пользуясь произволом функций $h_1 \in W_2^1(-l_1, 0), h_2 \in W_2^1(0, l_2), h_3 \in W_2^1(l_2, l_3)$, получим из выражения для первой вариации равенства

$$\int_{-l_1}^0 (w_1 h_1 - \mu_1 M_0 w_{1y} h_{1y}) dy = 0, \quad \int_0^{l_2} (w_2 h_2 - \mu_2 M_0 w_{2y} h_{2y}) dy = 0,$$

$$\int_{l_2}^{l_3} (w_3 h_3 - \mu_3 M_0 w_{3y} h_{3y}) dy = 0.$$

По лемме Дюбуа-Реймона отсюда получим уравнения Эйлера вариационной задачи (14) (по этой лемме вторые производные w_{jyy} существуют)

$$\begin{aligned} w_{1yy} + \frac{1}{\mu_1 M_0} w_1 &= 0, \quad -l_1 < y < 0, \\ w_{2yy} + \frac{1}{\mu_2 M_0} w_2 &= 0, \quad 0 < y < l_2, \\ w_{3yy} + \frac{1}{\mu_3 M_0} w_3 &= 0, \quad l_2 < y < l_3. \end{aligned} \quad (16)$$

Общие решения уравнений (16) имеют вид ($j = 1, 2, 3$)

$$w_j = C_1^j \sin\left(\frac{1}{\sqrt{\mu_j M_0}} y\right) + C_2^j \cos\left(\frac{1}{\sqrt{\mu_j M_0}} y\right).$$

С учётом граничных условий (5) – (8) получим систему линейных однородных уравнений на постоянные C_1^j, C_2^j

$$\begin{aligned} C_1^2 &= \sqrt{\mu_1} C_1^1, \quad C_2^1 = C_2^2, \quad C_2^1 = C_1^1 \operatorname{tg}(a_1 a_3 z), \\ C_1^2 \sin(a_4 z) + C_2^2 \cos(a_4 z) - C_1^3 \sin(z) - C_2^3 \cos(z) &= 0, \\ \sqrt{\mu_1} (C_1^2 \cos(a_4 z) - C_2^2 \sin(a_4 z)) - C_1^3 \cos(z) + C_2^3 \sin(z) &= 0, \\ C_1^3 \sin(a_2 z) + C_2^3 \cos(a_2 z) &= 0. \end{aligned}$$

Нетривиальное решение последней системы существует тогда и только тогда, когда

$$\begin{aligned} \sqrt{\mu_2} \sin((1 - a_2)z) (\sqrt{\mu_1} \cos(a_4 z) - \operatorname{tg}(a_1 a_3 z) \sin(a_4 z)) - \\ - \cos((1 - a_2)z) (\sqrt{\mu_1} \sin(a_4 z) + \operatorname{tg}(a_1 a_3 z) \cos(a_4 z)) &= 0, \end{aligned} \quad (17)$$

где

$$z = l_2 / (\mu_3 M_0)^{1/2}, \quad a_1 = l_1 / l_2, \quad a_2 = l_3 / l_2, \quad a_3 = (\mu_1 \mu_2)^{-1/2}, \quad a_4 = (\mu_2)^{-1/2},$$

$$\bar{\mu}_1 = \mu_1/\mu_2, \bar{\mu}_2 = \mu_2/\mu_3.$$

Уравнение (17) относительно z имеет счётное число положительных решений. Минимальное среди них z_0 является искомым $M_0 = l_2^2/(\mu_3 z_0^2)$. В частности, при $a_2 = 1$, (толщины второго и третьего слоя совпадают) и $\bar{\mu}_1 = 1$ (динамические вязкости первого и третьего слоя совпадают) получим $M_0 = l_2^2(a_4 + a_3 a_1)^2/(\mu_3 \pi^2)$.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-01-00283.

Список литературы

[1] Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В., Оптимальное управление, М., Наука, 1979. – с. 62.

УДК 517.9

О ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА СПЕЦИАЛЬНОГО ВИДА В ДВУМЕРНОМ ПАРАБОЛИЧЕСКОМ УРАВНЕНИИ

Е.Н. Кригер

Научный руководитель И.В. Фроленков

Сибирский федеральный университет

В работе доказано существование решения задачи идентификации функции источника специального вида в двумерном параболическом уравнении в случае данных Коши. Рассматриваемый коэффициент при функции источника представим в виде суммы или произведения двух функций, каждая из которых зависит от временной и одной пространственной переменных.

В области $G_{[0,T]} = \{(t, x, z) | 0 \leq t \leq T, (x, z) \in R^2\}$ рассмотрим задачу идентификации функции источника для параболического уравнения

$$u_t = u_{xx} + u_{zz} + f(t, x, z) \cdot \lambda(t, x, z), t \in (0, T), (x, z) \in R^2$$

с начальным условием $u(0, x, z) = u_0(x, z)$.

Неизвестными в задаче являются функции $u(t, x, z), \lambda(t, x, z)$, где коэффициент при функции источника имеет вид $\lambda(t, x, z) = \lambda_1(t, x) + \lambda_2(t, z)$ или $\lambda(t, x, z) = \lambda_3(t, x) \cdot \lambda_4(t, z)$.

Условия переопределения заданы на двух пересекающихся гиперплоскостях

$$u(t, x, \alpha) = \varphi(t, x), u(t, \beta, z) = \psi(t, z),$$

где α, β – некоторые постоянные.

Считаем выполненными условия согласования:

$$u_0(x, \alpha) = \varphi(0, x), u_0(\beta, z) = \psi(0, z), \varphi(t, \beta) = \psi(t, \alpha)$$

и условия на входные данные:

$$\begin{aligned} \varphi_t(t, \beta) - \varphi_{xx}(t, \beta) - \psi_{zz}(t, \alpha) &\neq 0, |f(t, \beta, z)| \geq \delta_1 > 0, \\ |f(t, x, \alpha)| &\geq \delta_2 > 0, \quad \forall t \in [0, T], \forall (x, z) \in R^2, \end{aligned}$$

где δ_1, δ_2 – некоторые постоянные.

Также относительно входных данных предположим, что они достаточно гладкие, имеют все непрерывные производные, входящие в следующее соотношение, и удовлетворяют ему.

$$\begin{aligned} \left| \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \varphi(t, x) \right| + \left| \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} \psi(t, z) \right| + \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u_0(x, z) \right| + \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} f(t, x, z) \right| \leq \\ \leq C, k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 6. \end{aligned}$$

Рассмотрим первый случай, когда $\lambda(t, x, z) = \lambda_1(t, x) + \lambda_2(t, z)$. Тогда неизвестный коэффициент при функции источника имеет вид

$$\begin{aligned} \lambda(t, x, z) = \frac{\psi_t(t, z) - \psi_{zz}(t, z)}{f(t, \beta, z)} + \frac{\varphi_t(t, x) - \varphi_{xx}(t, x)}{f(t, x, \alpha)} - \\ - \frac{\psi_t(t, \alpha) - \varphi_{xx}(t, \beta) - \psi_{zz}(t, \alpha)}{f(t, \beta, \alpha)} - \frac{u_{xx}(t, \beta, z)}{f(t, \beta, z)} - \frac{u_{zz}(t, x, \alpha)}{f(t, x, \alpha)}. \end{aligned}$$

Подставим выражение на неизвестный коэффициент в исходное уравнение и перейдем к прямой задаче для уравнения

$$\begin{aligned} u_t = u_{xx} + u_{zz} + f(t, x, z) \cdot \left[-\frac{u_{xx}(t, \beta, z)}{f(t, \beta, z)} - \frac{u_{zz}(t, x, \alpha)}{f(t, x, \alpha)} \right] + G(t, x, z), \\ t \in (0, T), (x, z) \in R^2, \end{aligned}$$

с начальным условием $u(0, x, z) = u_0(x, z)$, здесь $G(t, x, z)$ – известная функция.

Для доказательства существования решения полученной прямой задачи используем метод слабой аппроксимации (далее МСА). Расщепим

последнее уравнение на четыре дробных шага и сделаем сдвиг по времени на $\frac{\tau}{4}$ в следах неизвестных функций

$$\begin{aligned}
 u_t^\tau &= 4 \cdot (u_{xx}^\tau + u_{zz}^\tau), \quad n\tau < t \leq \left(n + \frac{1}{4}\right)\tau; \\
 u_t^\tau &= 4 \cdot u_{xx}^\tau \left(t - \frac{\tau}{4}, \beta, z\right) \cdot \frac{f(t, x, z)}{f(t, \beta, z)}, \quad \left(n + \frac{1}{4}\right)\tau < t \leq \left(n + \frac{1}{2}\right)\tau; \\
 u_t^\tau &= 4 \cdot u_{zz}^\tau \left(t - \frac{\tau}{4}, x, \alpha\right) \cdot \frac{f(t, x, z)}{f(t, x, \alpha)}, \quad \left(n + \frac{1}{2}\right)\tau < t \leq \left(n + \frac{3}{4}\right)\tau; \\
 u_t^\tau &= 4 \cdot G(t, x, z), \quad \left(n + \frac{3}{4}\right)\tau < t \leq (n+1)\tau, \\
 u^\tau(0, x, z) &= u_0(x, z), \\
 n &= 0, 1, 2, \dots, (N-1), \quad N\tau = T.
 \end{aligned}$$

Для решения $u^\tau(t, x, z)$ данной расщепленной задачи получены равномерные по τ оценки:

$$\begin{aligned}
 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u^\tau(t, x, z) \right| &\leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 6, \quad (t, x, z) \in G_{[0, T]}, \\
 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u_t^\tau(t, x, z) \right| &\leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 4, \quad (t, x, z) \in G_{[0, T]}.
 \end{aligned}$$

Здесь и далее считаем, что $C > 1$ – некоторые постоянные, вообще говоря, различные, зависящие от констант, ограничивающих входные данные, и независящие от параметра расщепления τ .

Приведенные выше оценки гарантируют выполнение условий теоремы Арцела о компактности. В силу теоремы Арцела некоторая подпоследовательность $u^{\tau_k}(t, x, z)$ последовательности $u^\tau(t, x, z)$ решений расщепленной задачи сходится вместе с производными по x и по z до четвертого порядка включительно к функции $u(t, x, z) \in C_{t,x,z}^{0,4,4}(G_{[0, T]})$, которая в силу теоремы сходимости МСА является решением прямой задачи, причем

$$u(t, x, z) \in C_{t,x,z}^{1,4,4}(G_{[0, T]}),$$

$$C_{t,x,z}^{1,4,4}(G_{[0, T]}) = \left\{ u(t, x, z) \left| \frac{\partial^k}{\partial t^k} u, \frac{\partial^{k_1+k_2}}{\partial x^{k_1} \partial z^{k_2}} u \in C(G_{[0, T]}), k = 0, 1, k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 4 \right. \right\}.$$

При этом справедливы следующие оценки

$$\left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u(t, x, z) \right| \leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 4, \quad (t, x, z) \in G_{[0, T]}.$$

Доказано выполнение условий переопределения. Следовательно, пара функций $u(t, x, z)$, $\lambda(t, x, z) = \lambda_1(t, x) + \lambda_2(t, z)$ является решением обратной задачи.

Доказано существование единственного решения $u(t, x, z)$, $\lambda(t, x, z) = \lambda_1(t, x) + \lambda_2(t, z)$ обратной задачи в классе $Z(T) = \left\{ u(t, x, z), \lambda(t, x, z) \mid u \in C_{t,x,z}^{1,4,4}(G_{[0, T]}), \lambda(t, x, z) \in C_{t,x,z}^{1,2,2}(G_{[0, T]}) \right\}$, удовлетворяющее соотношению

$$\sum_{k_1, k_2=0}^4 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u(t, x, z) \right| + \sum_{k_1, k_2=0}^2 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} \lambda(t, x, z) \right| \leq C.$$

Также при $\lambda(t, x, z) = \lambda_1(t, x) + \lambda_2(t, z)$ доказана устойчивость решения обратной задачи по входным данным.

В случае, когда $\lambda(t, x, z) = \lambda_3(t, x) \cdot \lambda_4(t, z)$, выражение на неизвестный коэффициент имеет следующий вид

$$\lambda(t, x, z) = \frac{f(t, \beta, \alpha)}{f(t, \beta, z) \cdot f(t, x, \alpha) \cdot [\varphi_t(t, \beta) - \varphi_{xx}(t, \beta) - \psi_{zz}(t, \alpha)]} \cdot \left([\varphi_t(t, x) - \varphi_{xx}(t, x)] \cdot [\psi_t(t, z) - \psi_{zz}(t, z)] - u_{zz}(t, x, \alpha) \cdot [\psi_t(t, z) - \psi_{zz}(t, z)] - u_{xx}(t, \beta, z) \cdot [\varphi_t(t, x) - \varphi_{xx}(t, x)] + u_{xx}(t, \beta, z) \cdot u_{zz}(t, x, \alpha) \right).$$

Подставим выражение на неизвестный коэффициент в исходное уравнение и перейдем к прямой задаче для уравнения

$$u_t = u_{xx} + u_{zz} + M(t, x, z) \cdot u_{xx}(t, \beta, z) \cdot u_{zz}(t, x, \alpha) - M_1(t, x, z) \cdot u_{xx}(t, \beta, z) - M_2(t, x, z) \cdot u_{zz}(t, x, \alpha) + M_3(t, x, z), \quad t \in (0, T), (x, z) \in R^2,$$

с начальным условием $u(0, x, z) = u_0(x, z)$.

Функции $M(t, x, z)$, $M_1(t, x, z)$, $M_2(t, x, z)$, $M_3(t, x, z)$ известны.

Для доказательства существования решения прямой задачи применим МСА. Расцепим последнее уравнение на три дробных шага и сделаем сдвиг по времени на $\frac{\tau}{3}$ в следах неизвестных функций.

$$u_t^\tau = 3 \cdot \left(u_{xx}^\tau(t, x, z) + u_{zz}^\tau(t, x, z) \right), \quad n\tau < t \leq \left(n + \frac{1}{3} \right) \tau;$$

$$u_t^\tau = 3 \cdot M(t, x, z) \cdot u_{xx}^\tau \left(t - \frac{\tau}{3}, \beta, z \right) \cdot u_{zz}^\tau \left(t - \frac{\tau}{3}, x, \alpha \right), \quad \left(n + \frac{1}{3} \right) \tau < t \leq \left(n + \frac{2}{3} \right) \tau;$$

$$u_t^\tau = -3 \cdot \left(M_1(t, x, z) \cdot u_{xx}^\tau \left(t - \frac{\tau}{3}, \beta, z \right) + M_2(t, x, z) \cdot u_{zz}^\tau \left(t - \frac{\tau}{3}, x, \alpha \right) - M_3(t, x, z) \right), \\ \left(n + \frac{2}{3} \right) \tau < t \leq (n+1)\tau,$$

$$u^\tau(0, x, z) = u_0(x, z),$$

$$n = 0, 1, 2, \dots, (N-1), \quad N\tau = T.$$

Для решения $u^\tau(t, x, z)$ расщепленной задачи получены равномерные по τ оценки в малом временном интервале:

$$\left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u^\tau(t, x, z) \right| \leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 6, \quad (t, x, z) \in G_{[0, t_*]},$$

$$\left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u_t^\tau(t, x, z) \right| \leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 4, \quad (t, x, z) \in G_{[0, t_*]},$$

здесь t_* – константа, удовлетворяющая условию $0 < t_* \leq T$ и зависящая от констант, ограничивающих входные данные.

Данные оценки гарантируют выполнение условий теоремы Арцела о компактности. В силу теоремы Арцела некоторая подпоследовательность $u^{\tau_k}(t, x, z)$ последовательности $u^\tau(t, x, z)$ решений расщепленной задачи сходится вместе с производными по x и по z до четвертого порядка включительно к функции $u(t, x, z) \in C_{t, x, z}^{0, 4, 4}(G_{[0, t_*]})$, которая в силу теоремы сходимости МСА является решением прямой задачи, причем $u(t, x, z) \in C_{t, x, z}^{1, 4, 4}(G_{[0, t_*]})$. При этом справедливы следующие оценки

$$\left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u(t, x, z) \right| \leq C, \quad k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 4, \quad (t, x, z) \in G_{[0, t_*]}.$$

Доказано выполнение условий переопределения. Следовательно, пара функций $u(t, x, z), \lambda(t, x, z) = \lambda_3(t, x) \cdot \lambda_4(t, z)$ является решением обратной задачи.

Таким образом, при $\lambda(t, x, z) = \lambda_3(t, x) \cdot \lambda_4(t, z)$ доказана теорема существования решения $u(t, x, z), \lambda(t, x, z)$ обратной задачи в классе

$Z(t_*) = \left\{ u(t, x, z), \lambda(t, x, z) \mid u \in C_{t,x,z}^{1,4,4}(G_{[0,t_*]}), \lambda(t, x, z) \in C_{t,x,z}^{1,2,2}(G_{[0,t_*]}) \right\}$, удовлетворяющего соотношению

$$\sum_{k_1, k_2=0}^4 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} u(t, x, z) \right| + \sum_{k_1, k_2=0}^2 \left| \frac{\partial^{k_1}}{\partial x^{k_1}} \frac{\partial^{k_2}}{\partial z^{k_2}} \lambda(t, x, z) \right| \leq C.$$

УДК 539.3(075.8)

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ УПРУГОСТИ ДЛЯ БЕСКОНЕЧНОГО ПОЛОГО ЦИЛИНДРА В НАПРЯЖЕНИЯХ

К.Ю. Атургашева

Научный руководитель П.И. Анферов

Сибирский федеральный университет

Для определения трехмерного напряженного состояния полого цилиндра известен ряд решений, использующих те или иные функции напряжений. В данной работе напряжения определяются непосредственно из основных дифференциальных уравнений теории упругости в цилиндрической системе координат.

Пусть бесконечный полый цилиндр $1 \leq r \leq R$ на части внешней поверхности нагружается поверхностной силой, имеющей шие $F_r(\theta, z), F_\theta(\theta, z), F_z(\theta, z)$.

Исходными соотношениями являются уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sigma_{rr,r} + r^{-1}\sigma_{r\theta,\theta} + \sigma_{rz,z} + (\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})_{,r} &= 0, \\ \sigma_{r\theta,r} + r^{-1}\sigma_{\theta\theta,\theta} + \sigma_{\theta z,z} + 2r^{-1}\sigma_{\theta r} &= 0, \\ \sigma_{rz,r} + r^{-1}\sigma_{\theta z,\theta} + \sigma_{zr,z} + r^{-1}\sigma_{rz} &= 0. \end{aligned} \tag{1}$$

Уравнения Бельтрами-Мичела:

$$\begin{aligned} \nabla\sigma_{rr} - 4r^{-2}\sigma_{r\theta,\theta} - 2r^{-2}(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}) &= -2\sigma_{,rr}, \\ \nabla\sigma_{\theta\theta} + 4r^{-2}\sigma_{r\theta,\theta} + 2r^{-2}(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}) &= -2r^{-1}(\sigma_{,r} + r^{-1}\sigma_{,\theta\theta}), \\ \nabla\sigma_{r\theta} + 2r^{-2}(\sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta})_{,\theta} - 4r^{-2}\sigma_{r\theta} &= -2r^{-2}(r\sigma_{,r\theta} - \sigma_{,\theta}), \\ \nabla\sigma_{\theta z} + 2r^{-2}\sigma_{rz,\theta} - r^{-2}\sigma_{\theta z} &= -2r^{-1}\sigma_{,\theta z}, \\ \nabla\sigma_{rz} - 2r^{-2}\sigma_{\theta z,\theta} - r^{-2}\sigma_{rz} &= -2\sigma_{,rz}, \end{aligned} \tag{2}$$

$$\nabla\sigma_{zz} = -2\sigma_{,zz}.$$

Запятая на уровне индексов обозначает частное дифференцирование по координатам, указанным после нее.

Функция σ является гармонической:

$$\nabla\sigma = 0 \quad (3)$$

Здесь обозначено:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \text{ оператор Лапласа,}$$

$$\sigma = 0,5(1 + \mu)^{-1}(\sigma_{rr} + \sigma_{\theta\theta} + \sigma_{zz}),$$

μ – коэффициент Пуассона.

Граничные условия для уравнений (1), (2) таковы:

$$\sigma_{rr}(1, \theta, z) = \sigma_{r\theta}(1, \theta, z) = \sigma_{rz}(1, \theta, z) = 0, \quad (4)$$

$$\sigma_{rk}(R, \theta, z) = F_k(k, \theta, z), \quad k = r, \theta, z. \quad (5)$$

Напряжения σ_{jk} , найденные из уравнений Бельтрами-Мичела (2), должны тождественно удовлетворять уравнениям равновесия (1). Разлагая искомые функции σ_{jk} в ряды Фурье по координате θ и интегралы Фурье по координате z , представим их в виде

$$\sigma_{jk}(r, \theta, z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\sigma}_{jk}(r, n, \omega) e^{i(n\theta + \omega z)} d\omega. \quad (6)$$

Здесь чертой сверху обозначены двойные преобразования Фурье

$$\bar{\sigma}_{jk}(r, n, \omega) = \frac{1}{(2\pi)^{3/2}} \int_{-\pi}^{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \sigma_{jk}(r, \theta, z) e^{-i(n\theta + \omega z)} dz d\theta. \quad (7)$$

Применим двойное преобразование Фурье (7) ко всем членам уравнений (1) – (3) и граничным условиям (4), (5), введем новую независимую переменную $\rho = \omega r$ и после преобразований получим систему обыкновенных дифференциальных уравнений для $\bar{\sigma}_{jk}(\rho, n)$:

$$\rho \bar{\sigma}'_{rr} + (\bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta}) + i \bar{\sigma}_{rz} + in \bar{\sigma}_{r\theta} = 0, \quad (8)$$

$$i \rho \bar{\sigma}'_{zz} + \rho \bar{\sigma}'_{rz} + \bar{\sigma}_{rz} + in \rho \bar{\sigma}_{\theta z} = 0, \quad (9)$$

$$\rho \bar{\sigma}'_{r\theta} - i \rho \bar{\sigma}'_{\theta z} + 2 \bar{\sigma}_{r\theta} + in \bar{\sigma}_{\theta\theta} = 0, \quad (10)$$

$$\bar{\nabla} \bar{\sigma}_{rr} - 4in \rho^{-2} \bar{\sigma}_{r\theta} - 2\rho^{-2} (\bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta}) = -2\bar{\sigma}'' , \quad (11)$$

$$\bar{\nabla} \bar{\sigma}_{\theta\theta} + 4in \rho^{-2} \bar{\sigma}_{r\theta} + 2\rho^{-2} (\bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta}) = -2\rho^{-1} \bar{\sigma}^{-1} + 2n^2 \bar{\rho}^2 \bar{\sigma}, \quad (12)$$

$$\bar{\nabla} \bar{\sigma}_{r\theta} + 2\rho^{-2} (\bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta}) - 4\rho^{-2} \bar{\sigma}_{r\theta} = -2in(\rho^{-1} \bar{\sigma})', \quad (13)$$

$$\bar{\nabla}\bar{\sigma}_{\theta z} + 2in\rho^{-2}\bar{\sigma}_{rz} - \rho^{-2}\bar{\sigma}_{\theta z} = -2n\rho^{-1}\bar{\sigma}, \quad (14)$$

$$\bar{\nabla}\bar{\sigma}_{rz} - 2in\rho^{-2}\bar{\sigma}_{\theta z} - \rho^{-2}\bar{\sigma}_{rz} = -2i\bar{\sigma}, \quad (15)$$

$$\bar{\nabla}\bar{\sigma}_{zz} = 2\bar{\sigma}, \quad (16)$$

$$\bar{\nabla}\bar{\sigma} = 0. \quad (17)$$

Здесь и далее штрихи означают дифференцирование по ρ .

$$\bar{\nabla} = \frac{\partial^2}{\partial \rho^2} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial \rho} - \left(\frac{n^2}{\rho^2} + 1 \right).$$

Граничные условия для (8) – (16):

$$\bar{\sigma}_{rr}(\omega, n) = \bar{\sigma}_{r\theta}(\omega, n) = \bar{\sigma}_{rz}(\omega, n) = 0, \quad (18)$$

$$\bar{\sigma}_{rk}(R \cdot \omega, n) = \bar{F}_k(n, \omega), \quad k = r, \theta, z. \quad (19)$$

Интегрирование системы уравнений (11) – (16) упрощается, если ввести новые неизвестные функции $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ равенствами:

$$\sigma_1 = \bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta} + 2i\bar{\sigma}_{r\theta}, \quad (20)$$

$$\sigma_2 = \bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta} - 2i\bar{\sigma}_{r\theta}, \quad (21)$$

$$\sigma_3 = \bar{\sigma}_{\theta z} + i\bar{\sigma}_{rz}, \quad (22)$$

$$\sigma_4 = \bar{\sigma}_{\theta z} - i\bar{\sigma}_{rz}. \quad (23)$$

Через эти функции искомые преобразования Фурье напряжений выражаются формулами:

$$\bar{\sigma}_{rr} = \frac{1}{4}(\sigma_1 + \sigma_2) + (1 + \mu)\bar{\sigma} - \frac{1}{2}\bar{\sigma}_{zz}, \quad (24)$$

$$\bar{\sigma}_{\theta\theta} = \frac{1}{4}(\sigma_1 + \sigma_2) - (1 + \mu)\bar{\sigma} - \frac{1}{2}\bar{\sigma}_{zz}, \quad (25)$$

$$\bar{\sigma}_{rz} = \frac{1}{2}(\sigma_3 - \sigma_4), \quad (26)$$

$$\bar{\sigma}_{\theta z} = \frac{1}{2}(\sigma_3 + \sigma_4), \quad (27)$$

$$\bar{\sigma}_{r\theta} = \frac{1}{4i}(\sigma_1 - \sigma_2). \quad (28)$$

Общее решение уравнения (17) известно

$$\bar{\sigma}(\rho, n) = AI_n(\rho) + BK_n(\rho), \quad (29)$$

где $I_n(\rho), K_n(\rho)$ – модифицированные функции Бесселя, A, B – некоторые константы.

Подставим $\bar{\sigma}$ из (29) в правые части уравнений (11) – (16) и, комбинируя их в соответствии с выражениями (20) – (23) с учетом известных рекуррентных соотношений для I_n, K_n , после преобразований получим:

$$\sigma_1'' + \rho^{-1}\sigma_1' - [1 + \rho^{-2}(n+2)^2]\sigma_1 = -2(AI_{n+2} + BK_{n+2}), \quad (30)$$

$$\sigma_2'' + \rho^{-1}\sigma_2' - [1 + \rho^{-2}(n-2)^2]\sigma_2 = -2(AI_{n-2} + BK_{n-2}), \quad (31)$$

$$\sigma_3'' + \rho^{-1}\sigma_3' - [1 + \rho^{-2}(n-1)^2]\sigma_3 = 2(AI_{n-1} - BK_{n-1}), \quad (32)$$

$$\sigma_4'' + \rho^{-1}\sigma_4' - [1 + \rho^{-2}(n+1)^2]\sigma_4 = -2(AI_{n+1} - BK_{n+1}), \quad (33)$$

$$\bar{\sigma}_{zz}'' + \rho^{-1}\bar{\sigma}_{zz}' - [1 + \rho^{-2}n^2]\bar{\sigma}_{zz} = 2(AI_n + BK_n). \quad (34)$$

Общие решения этих уравнений найдены методом вариации произвольных постоянных:

$$\sigma_1 = A_1I_{n+2} + B_1K_{n+2} + \frac{\rho}{2}[B(K_{n+1} + K_{n+3}) - A(I_{n+1} + I_{n+3})], \quad (35)$$

$$\sigma_2 = A_2I_{n-2} + B_2K_{n-2} + \frac{\rho}{2}[B(K_{n-1} + K_{n-3}) - A(I_{n-1} + I_{n-3})], \quad (36)$$

$$\sigma_3 = A_3I_{n-1} + B_3K_{n-1} + \frac{\rho}{2}[B(K_n + K_{n-2}) + A(I_n + I_{n-2})], \quad (37)$$

$$\sigma_4 = A_4I_{n+1} + B_4K_{n+1} - \frac{\rho}{2}[B(K_n + K_{n+2}) + A(I_n + I_{n+2})], \quad (38)$$

$$\sigma_{zz} = A_5I_n + B_5K_n + \frac{\rho}{2}[B(K_{n-1} + K_{n+1}) - A(I_{n-1} + I_{n+1})]. \quad (39)$$

Константы интегрирования в формулах (35) – (39) не могут быть все произвольными, так как величины $\bar{\sigma}_{jk}$, $j, k = r, \varphi, z$ должны тождественно удовлетворять уравнениям (8) – (10).

Введем выражения (29), (35) – (39) в формулы (24) – (28), а затем $\bar{\sigma}_{jk}$ в уравнения (8) – (10). После преобразований, которые опускаем, получим три нулевых линейных комбинации для линейно независимых пар функций I_k, K_k , $k = n-1, n, n+1$. Из чего следуют шесть равенств для определения констант в (35) – (39):

$$\begin{aligned} 3A + A_2 + 2A_3 - A_5 &= 0, & -B - B_2 + 2B_3 + B_5 &= 0, \\ 3A + A_1 - 2A_4 - A_5 &= 0, & -4B - B_4 + B_3 + 2B_5 &= 0, \\ A_4 - A_3 + 2A_5 &= 0, & B - B_1 - 2B_4 + B_5 &= 0. \end{aligned} \quad (43)$$

Еще шесть уравнений для этих констант получаются из граничных условий (18), (19) и равенств (24), (26), (28):

$$\sigma_1(\omega R) + \sigma_2(\omega R) + 4(1 + \mu)\bar{\sigma}(\omega R) - 2\bar{\sigma}_{zz}(\omega R) = 4\bar{F}_r, \quad (44)$$

$$\sigma_1(\omega R) - \sigma_2(\omega R) = 4i\bar{F}_\theta, \quad (45)$$

$$\sigma_3(\omega R) - \sigma_4(\omega R) = 2i\bar{F}_z, \quad (46)$$

$$\sigma_1(\omega) + \sigma_2(\omega) + 4(1 + \mu)\bar{\sigma}(\omega) - 2\bar{\sigma}_{zz}(\omega) = 0, \quad (47)$$

$$\sigma_1(\omega) - \sigma_2(\omega) = 0, \quad (48)$$

$$\sigma_3(\omega) - \sigma_4(\omega) = 0. \quad (49)$$

Решив систему уравнений (43) – (49), определим константы: $A, B, A_i, B_i, i = 1, 2, \dots, 5$. Вычисленные константы подставим в (35) – (38), а затем по выражениям (24)–(28) и (39) находим преобразования Фурье напряжений, что позволит осуществить обратные преобразования (6) и определить напряженное состояние цилиндра.

УДК 517.9

ЗАДАЧА ИДЕНТИФИКАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ЧЛЕНЕ И ФУНКЦИИ ИСТОЧНИКА В СИСТЕМЕ СОСТАВНОГО ТИПА

Н.А. Шапкова

Научный руководитель Р.В. Сорокин

Сибирский федеральный университет

В полосе $G_{[0, \gamma]} = \{(x, t) \mid 0 \leq t \leq T, x \in E_1\}$ рассматривается задача Коши для системы уравнений вида

$$\begin{cases} u_t^1(t, x) = u_{xx}^1(t, x) + b_{11}(t)u^1(t, x) + b_{12}(t)u^2(t, x) + \lambda^3(t)u_x^1(t, x)u^2(t, x) + \lambda^1(t)f(t, x) \\ u_t^2(t, x) = b_{21}(t)u^1(t, x) + b_{22}(t)u^2(t, x) + u_x^2(t, x) + \lambda^2(t)g(t, x). \end{cases}$$

с начальными условиями

$$u^k(0, x) = u_0^k(x), x \in E_1, k = 1, 2.$$

Пусть задано условие переопределения:

$$u^k(t, \gamma) = \beta^k(t), 0 \leq t \leq T, k = 1, 2.$$

Считаем выполненным условие согласования:

$$u_0^k(\gamma) = \beta^k(0), k = 1, 2.$$

Наряду с функциями $u^1(t, x), u^2(t, x)$ определению подлежат функции $\lambda^3(t), \lambda^2(t)$.

Относительно входных данных предполагаем, что они достаточно гладкие, имеют все непрерывные производные, входящие в следующее соотношение и удовлетворяющее ему

$$|\beta(t)| + |\beta'(t)| + \left| \frac{\partial^l}{\partial x^l} u_0^k(x) \right| + \left| \frac{\partial^l}{\partial x^l} f(t, x) \right| + \left| \frac{\partial^l}{\partial x^l} g(t, x) \right| \leq C, l = \overline{0, 4}, (t, x) \in G_{[0, T]}, 0 \leq t \leq T,$$

где C – постоянная.

Пусть выполняется следующие условия:

$$(u_0^1(\gamma))' \beta^2(t) \geq \frac{\delta}{2}, \quad |g(t, \gamma)| \geq \delta, 0 \leq t \leq T,$$

где δ – некоторая постоянная.

Доказано существование решения $u^1(t, x), u^2(t, x), \lambda^2(t), \lambda^3(t)$ исходной задачи, в классе

$$Z(t^*) = \left\{ u^k(t, x), \lambda^3(t) \mid u^k(t, x) \in C_{t, x}^{1,2}(G_{[0, t^*]}), \lambda^3(t) \in C[0, t^*], k = 1, 2 \right\}$$

удовлетворяющего неравенству $|\lambda^2(t)| + |\lambda^3(t)| + \sum_{l=0}^2 \left| \frac{\partial^l}{\partial x^l} u^k(t, x) \right| \leq C, k = 1, 2.$

УДК 519.68

О СРАВНЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МУРАВЬИНОГО И ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМОВ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

О.Е. Семенкина
Научный руководитель Е.С. Семенкин
Сибирский федеральный университет

Одна из актуальных научных проблем современной математики – исследование эффективности стохастических алгоритмов, работающих одновременно с большим количеством текущих решений на задачах оптимизации. Данная статья посвящена исследованию эффективности алгоритма муравьиных колоний и генетического алгоритма.

Для разработки и исследования эффективности алгоритмов была использована задача коммивояжера, которая является оптимизационной задачей, часто возникающей на практике. Если имеется заданное множество из n городов, то *задача коммивояжера* – это задача нахождения замкнутого обхода минималь-

ной длины, причем каждый город должен быть посещен единственный раз. В качестве тестовых задач были взяты решетки 4 на 4 и 5 на 5 городов.

Муравьиный алгоритм основан на имитации поведения муравьев в природе. Почти слепые птицы или животные, как и муравьи, справляются с задачей отыскания кратчайшего пути от гнезда до источника пищи и обратно. Для обмена информацией они используют след фермента, оставляемый на пути. Муравей с большей вероятностью выбирает тот путь, на котором большее количество фермента.

После прохождения полного обхода каждый муравей оставляет вещество, называемое *след*, на каждом пройденном ребре (i, j) между i-м и j-м городами.

Пусть $\tau_{ij}(t)$ – это *интенсивность следа* на ребре (i, j) в момент времени t. Интенсивность следа обновляется в соответствии с формулой $\tau_{ij}(t+n) = \rho \cdot \tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}$, где ρ является коэффициентом таким, что (1- ρ) представляет собой *испарение* следа. $\Delta\tau_{ij} = \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$, где $\Delta\tau_{ij}^k$ есть количество вещества следа, оставленного на единице длины ребра (i, j) k-м; оно задается формулой

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k}, & \text{если } k\text{-й муравей использует ребро (i, j) в своем обходе} \\ 0, & \text{если не использует,} \end{cases}$$

где Q является постоянной, а L_k – длина обхода k-го муравья.

Коэффициент ρ должен иметь значение меньше 1 для того, чтобы исключить неограниченное накопление следа.

Пусть число η_{ij} , равное $1/d_{ij}$, называется *видимостью*, где d_{ij} – длина пути между городами i и j. Муравей выбирает город, в который собирается идти с вероятностью, которая является функцией расстояния до города и количества следов, оставленных на соединяющем ребре. Вероятность перехода из города i в город j для k-го муравья выражается следующим образом:

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_k [\tau_{ik}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ik}]^\beta}, & \text{если } k\text{-й муравей еще не посещал } j\text{-й город,} \\ 0, & \text{если } k\text{-й муравей уже посещал } j\text{-й город,} \end{cases}$$

где α и β являются параметрами, которые управляют относительной важностью следа и видимости.

Была разработана программа, реализующая алгоритм муравьиных колоний, и с ее помощью исследована на тестовых задачах зависимость надежности этого алгоритма от различных настроек параметров. А именно: выявлены лучшие настройки: $\alpha=1$, $\beta=10$, $\rho=0,5-0,7$, и установлено, что

значение параметра Q существенного влияния не оказывает, а количество муравьев должно быть близко к количеству городов.

Генетический алгоритм основан на имитации естественной эволюции. Каждое решение задачи является индивидом популяции, т.е. множества решений, который представлен хромосомой – списком номеров городов в порядке их посещения. В своей работе генетический алгоритм использует несколько операторов, следующих друг за другом, таких как селекция, рекомбинация и мутация. В генетическом алгоритме для задачи коммивояжера хромосома представляет собой перестановку из n чисел (номеров городов), тогда как в стандартной версии это строка нулей и единиц. В связи с этим стандартные операторы видоизменены, однако сохраняется большое количество настраиваемых параметров, таких как вероятность мутации, тип селекции – турнирная (с выбором размера турнира), пропорциональная и ранговая (с линейным или экспоненциальным ранжированием).

Была разработана программа, реализующая генетический алгоритм, и с ее помощью исследована на тестовых задачах его надежность при различных настройках параметров. Были выявлены лучшие настройки генетического алгоритма, а именно турнирная селекция с небольшим турниром и слабая или очень слабая мутация.

На тестовых задачах муравьиный алгоритм требует гораздо меньшего количества вычислений, так как является алгоритмом, специально разработанным для задач такого типа. Генетический же алгоритм потребовал в разы большего количества вычислений, однако он приспособлен для более широкого класса задач.

Рассмотрена практическая задача, которую можно сформулировать следующим образом. Необходимо посетить все районные центры Красноярского края, а именно 47 городов и поселков, с заданными координатами. Предполагается, что расстояние между городами преодолевается на вертолете, т.е. расстояние измеряется кратчайшим расстоянием между двумя городами.

У обоих алгоритмов возникли трудности с решением данной задачи. Лучший обход, найденный муравьиным алгоритмом, имеет длину 5420,57 км, а генетическим – 5288,37 км. Оба решения не являются глобально оптимальными. При решении практической задачи генетическому алгоритму было дано большее количество вычислений целевой функции, так как у него происходило медленное улучшение текущего решения, в то время как муравьиный алгоритм по-прежнему быстро сходил к указанному решению и не улучшал его на очень большом последующем количестве итераций.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ – УСПЕХИ НАУЧНОЙ МОЛОДЕЖИ

УДК 632.95.024.4

СОХРАНЕНИЕ ЭФФЕКТА ВЛИЯНИЯ ГЕРБИЦИДОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ МУЖСКОГО ГАМЕТОФИТА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В ПОСЛЕДУЮЩЕМ ПОКОЛЕНИИ

Е.В. Козлова

Научный руководитель О.В. Злотникова

Красноярский государственный аграрный университет

Одной из серьезных экологических проблем современности является загрязнение окружающей среды веществами абиогенного происхождения – ксенобиотиками, к числу которых относятся широко применяемые препараты для уничтожения сорной растительности – гербициды.

Применение гербицидов обеспечивает повышение урожайности культуры за счет снижения засоренности посева. До настоящего времени явно недостаточное внимание со стороны исследователей уделялось оценке влияния гербицидов на сами культурные растения. Существующие на сегодня данные имеются в отношении влияния гербицидов на отдельные морфофизиологические и биохимические параметры жизнедеятельности растений, активность отдельных ферментов, но преимущественно дикорастущих видов. В то же время известно, что при воздействии стрессов, к которым относится и обработка гербицидами, основными уязвимыми звеньями формирования биомассы возделываемых культур являются фотосинтез, рост и развитие растений.

Целью данной работы было показать, что применение гербицидов на посевах яровой пшеницы в условиях приенисейской Сибири может вызвать отдаленные последствия у семенного поколения.

Исследования проводились совместно с сотрудниками КНИИСХ СО РАСХН в 2009–2010 гг. На первом этапе – в 2009 г. – на стационаре КНИИСХ в ОПХ «Минино» Красноярского края посева в производственном опыте были обработаны препаратами по следующим схемам: 1) контроль (без обработки); 2); Овсюген Экспресс КЭ (0,5 л/га) (далее – Овсюген); 3)

Пума Супер 100 КЭ (0,6 л /га) (далее Пума); 4) Грассер ЭМВ (0,8 л/га); 5) Ластик КЭ (1,0 л/га). Гербициды применялись в фазу кушения. Препараты имеют разные действующие вещества и производятся разными фирмами.

В течение вегетационного периода оценивали состояние пыльцы. Сначала с каждого поля отбирали пыльники, не менее чем с десятком колосьев с разных точек поля. Позже в лаборатории проводили фиксацию материала уксусным алкоголем, далее окрашивали 2 %-ым ацетокармином, микроскопировали. Анализ проводили не менее чем по 2000 пыльцевых зерен в каждом варианте

При анализе выделяли следующие признаки: пыльцевые зерна без вегетативного ядра, пустые, дегенеративные, с одним спермием, с отставанием цитоплазмы, с отсутствием спермиев, с несколькими признаками. Полученные данные систематизировали по трем типам нарушений.

Как видно из таблицы, в некоторых вариантах опытов наблюдалось повышение уровня фертильности пыльцы. Так, при применении Грассера и Овсюгена Экспресс выявлено снижение доли аномальных пыльцевых зерен в 1,2 и 1,9 раз по сравнению с контрольным вариантом.

Наиболее существенное ухудшение состояния пыльцы отмечено при обработке посевов препаратом Пума – в 1,4 раза по сравнению с контролем, в основном это происходит за счет возрастания частоты нарушений формирования оболочек пыльцевого зерна, более чем в 2 раза по сравнению с контролем.

Семена, полученные с материнских растений, подвергавшихся обработке, на следующий год были высеяны. Посевы не подвергали химической обработке, сорную растительность удаляли вручную. Потом по той же технологии, что описана выше, оценивали качество пыльцы.

В результате исследования пыльцы 2010 г. установлено, что в опытных вариантах имелось существенное увеличение доли пыльцевых зерен с аномалиями (таблица). Влияние гербицидов на формирование пыльцевых зерен во всех опытных вариантах было различным: наибольшее количество аномалий наблюдалось в варианте с Овсюгеном в 2 и с Грассером в 1,5 раза по сравнению с контролем. В варианте с применением гербицида Овсюген большая часть выявленных аномалий приходилась на долю пыльцевых зерен с несколькими признаками одновременно, а именно отставание цитоплазмы и отсутствие спермиев. В остальных же вариантах было большое количество пыльцевых зерен с нарушением микроархитектуры оболочки: в вариантах с Грассером в 1,8 раза, с Пумой в 1,6 и с Ластиком 1,5 раза выше, чем в контроле.

Таким образом, анализ пыльцы, собранной с материнских растений, не выявил ухудшения ее качества, однако качество пыльцы с дочерних растений снизилось в опытных вариантах по сравнению с контролем. В тех вариантах, где наблюдалось лучшее качество пыльцы в первый год иссле-

дования, происходило ее ухудшение в следующем поколении. Наиболее ярким примером этого является вариант с применением Овсюгена: здесь доля морфологически аномальных пыльцевых зерен выросла в 3,8 раза.

Таблица. Доля аномальных пыльцевых зерен при воздействии на посеvy яровой пшеницы противоодольными гербицидами

Вариант	Число просмотренных пыльцевых зерен	Доля морфологически аномальных пыльцевых зерен, %			
		всего	в том числе		
			с аномалиями формирования клеток гаметофита	с аномалиями микроархитектуры оболочки	с аномалиями двух типов одновременно
Материнские растения (2009 г.)					
Контроль	2341	41,9	33,4	7,9	0,2
Овсюген	2702	22,6	16,2	6,3	0,2
Пума	2533	56,5	36,9	18,2	0,5
Грассер	2529	35,1	28,2	6,5	0,4
Ластик	2473	35,5	23,0	11,7	0,8
Дочерние растения (2010 г.)					
Контроль	2012	43,3	12,3	25,6	5,4
Овсюген	2206	86,1	19,0	7,8	59,3
Пума	2050	56,0	6,9	40,1	8,9
Грассер	2001	66,4	9,9	46,2	10,2
Ластик	2017	52,0	8,3	38,3	5,4

Если использовать скрининг пыльцы для оценки силы влияния препаратов химической защиты на культуру, то будет логичным и анализ урожайности и структуры урожая обработанных посевов.

Нами не было обнаружено негативного влияния гербицидов на данные параметры культуры за исключением высоты растений, уменьшение которой свидетельствовало о не вполне благополучном перенесении обработки растениями. По-видимому эффект от устранения конкурентов в виде сорняков намного превышал прямое воздействие гербицидов на растения пшеницы, что отразилось в повышении урожайности культуры на 16,5–23,8 % в опытных вариантах по сравнению с контролем.

Однако должно насторожить явление ухудшения качества пыльцы у дочерних растений в отсутствие давления со стороны химических препаратов на фоне ручной прополки во всех вариантах, так как оно свидетельствует о том, что химическая прополка служит довольно сильным факто-

ром искусственного отбора и может изменять генетический профиль сорта, нарушая его стабильность. Это может приводить к утрате сортом собственных ему признаков.

УДК 598.285

**ОСОБЕННОСТИ МЕСТ ОБИТАНИЯ И ЭКОЛОГИИ
MOTACILLA CITREOLA PALL.
НА ЮГЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ**

В.Л. Темерова
Научный руководитель А.П. Савченко
Сибирский федеральный университет

Одним из интересных случаев в регионе является вертикальная специфика и сформировавшаяся в связи с этим биотопическая изоляция форм *M. citreola* Pall. Свойственная им зона контакта и интерградации образуется в результате процессов, происходивших в третичном и в четвертичном периодах. Дизъюнкция ареала восточного подвида объясняется арктическо-альпийским типом ледникового разрыва. При исследовании биотопической изоляции форм в регионе мы учитывали, в первую очередь, высокую мозаичность ландшафтных элементов Алтай-Саянского экорегиона.

Основной материал собран в результате эколого-фаунистических исследований, проводящихся сотрудниками кафедры прикладной экологии и ресурсоведения СФУ в течение последних десятилетий. Для детального изучения морфологических признаков птиц коллектировали, в настоящее время в фондах зоологического музея СФУ 176 тушек желтоголовой трясогузки из 26 пунктов, а также проанализированы полевые исследования автора 2008–2010 гг. (см рис.).

Желтоголовая трясогузка заселяет заболоченные луга, берега озер, болот и искусственных водоемов, сырые пойменные луга. Важно отметить, что из всех обитающих на территории Алтае-Саянского экорегиона представителей семейства Motacillidae, желтоголовая трясогузка как стенобионтный вид тяготеет к микростациям с повышенной влажностью.

Номинативная форма *M.c.citreola* на исследуемой территории имеет дизъюнктивный ареал. По природно-климатическим условиям северные широты сходны с гольцовым поясом Алтае-Саянской горной страны. По имеющимся коллекционным экземплярам, добытым А.П. Савченко на гнездовании в Саянах (оз. Ойское, ст. Буйба и р. Нижняя Буйба), птицы гор

близки к номинативному подвиду, хотя мы не исключаем дивергенции в развитии признаков, характеризующих население этой горной страны.



Рис. Современное распространение форм *M. citreola* на территории Центральной Сибири

Область гнездования *M.c.werae* в регионе представлена как сплошными (на водоемах Хакасии и юга Красноярского края), так и изолированными периферийными участками. Важно отметить, что данный подвид явно тяготеет к котловинным участкам. Типичная гнездовая станция его – сырые открытые лугово-тростниковые полосы вдоль берегов озер с фрагментами болота, пойменные участки рек. Наличие макрофитов – определяющий фактор распространения желтоголовой трясогузки на равнине.

Вертикальное распределение восточной *Motacilla citreola citreola* Pallas, 1776 – от 600 до 1600 м над уровнем моря, что подтверждает приуроченность данной формы к горной местности; западная *Motacilla citreola werae* Buturlin, 1907, тяготея к котловинным участкам, не поднимается выше 750 м над уровнем моря; монгольская *Motacilla citreola quassatrix* Portenko, 1960 отличается от предыдущих форм меньшей изученностью, мы склонны считать, что эта форма населяет сухие горные возвышенности.

Зон интерградации восточной и западной желтоголовых трясогузок в Алтае-Саянской горной стране нами не выявлено, а анализ морфометрических параметров показал достоверные различия между трясогузками котловинных (степных, лесостепных) и горных участков. Прямая корреляционная зависимость установлена также между абсолютной высотой мест обитания трясогузок и длиной их крыла.

УДК 576.316.23 : 582.475.2

АНАЛИЗ КАРИОТИПА ЛИСТВЕННИЦЫ ГМЕЛИНА (*LARIX GMELINII*).

Е.В. Сычева¹, О.В. Квитко²

Научный руководитель Е.Н. Муратова

¹*Сибирский федеральный университет*

²*Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН*

Лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.) является одним из основных лесообразующих видов Восточной Сибири. Несмотря на широкое распространение и большую экологическую значимость, генетическое разнообразие данного вида изучено недостаточно. Кариологические исследования являются составной частью изучения генетических ресурсов и необходимы для использования генофонда мирового разнообразия хвойных. Кариотип лиственницы Гмелина ранее изучался в Эвенкии, Читинской области и Монголии. Между тем у видов с обширным ареалом может наблюдаться межпопуляционная кариотипическая изменчивость, для выявления которой необходимо изучение структуры кариотипа в разных районах естественного распространения вида. Результаты кариологических исследований широко применяются при изучении биоразнообразия растений, структуры и состава популяций, помогают понять процессы микроэволюции и видообразования.

Работа с хромосомами *Larix* представляет большие сложности из-за сходства кариотипов разных видов и отсутствия методов дифференциального окрашивания. Метод флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH) позволяет картировать определенные последовательности ДНК на хромосомах с помощью различно окрашенных маркеров. Анализ локализации маркеров на хромосомных плечах помогает идентифицировать хромосомы в кариотипе и подбирать пары гомологов. Применение этого метода для хвойных открывает ряд новых возможностей при анализе генетического разнообразия, внутривидовой и межвидовой дифференциации.

Целью работы являлось изучение кариотипа лиственницы Гмелина с использованием стандартных для хвойных методик и FISH с пробами рибосомных генов 5S и 45S рРНК. В качестве материала для исследований использовали семена *L. gmelinii* из Олекминского улуса (Западная Якутия).

Всего было исследовано более 140 проростков лиственницы Гмелина. Хромосомный набор данного вида содержит 24 хромосомы ($2n = 24$). В результате исследований у *L. gmelinii* выявлен высокий уровень миксоплоидии. 39,1 % проростков содержали единичные клетки с измененным числом хромосом: 12/24 (2,9 %); 24/26 (1,4 %); 24/25/48; 12/24/48 (1,4 %). Кроме того, 21,7 % проростков содержали клетки с различными типами хромосомных мутаций. Были обнаружены хромосомные фрагменты, ацентрические кольца, кольцевые и дицентрические хромосомы. Такие аномалии задерживают клеточный цикл, приводят к потере генетического материала и формированию клеток с измененным числом хромосом. Общая частота встречаемости клеток с хромосомными перестройками у лиственницы Гмелина составила 2,1 %. Все аномалии относятся к общему типу и ранее отмечались как у данного вида, так и у других видов хвойных.

Для исследования кариотипа лиственницы Гмелина использовали 63 метафазные пластинки, для статистической обработки были отобраны 39 пластинок с интервалом суммарной длины от 235 до 285 мкм. Суммарная длина хромосом всех исследованных пластинок варьировала от 206,9 до 311,7 мкм и в среднем составила $262,2 \pm 3,15$ мкм (коэффициент вариации 8,9 %).

На поликариограмме видны две группы точек (рис. 1). В соответствии с этим в кариотипе лиственницы Гмелина были выделены две группы хромосом: 6 пар длинных метацентрических (I-VI) и 6 пар более коротких субмета- и интерцентрических (VII-XII) хромосом. Морфометрические параметры выделенных групп хромосом представлены в таблице.

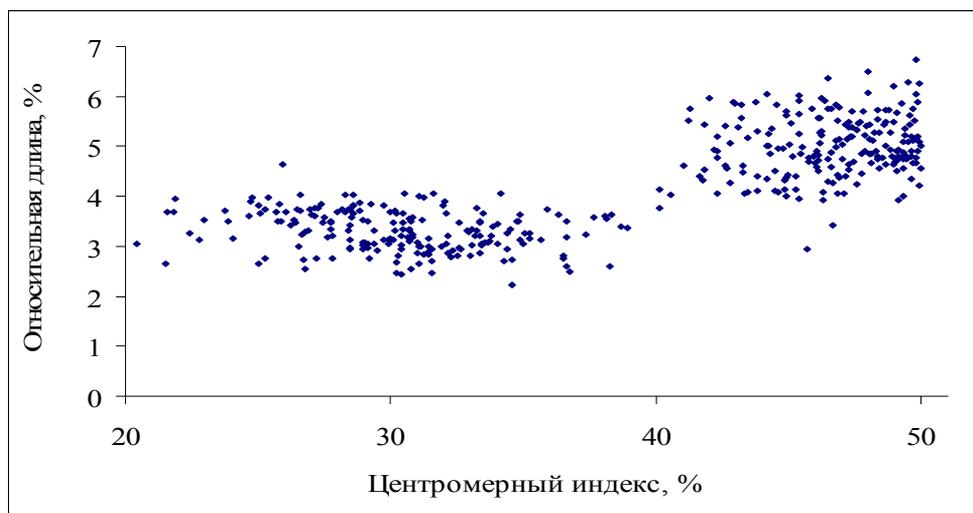


Рис. 1. Поликариограмма лиственницы Гмелина из Якутии

Морфометрические параметры хромосом лиственницы Гмелина

Группы хромосом	Абсолютная длина (L ^a), %		Относительная длина (L ^r), %		Центромерный индекс (I ^c), %	
	M±m	CV, %	M±m	CV, %	M±m	CV, %
I-VI	13,16±0,09	12,2	5,03±0,03	10,95	46,73±0,13	4,98
VII-VIII	9,7±0,07	7,49	3,7±0,02	4,91	32,24±0,14	7,15
IX-XII	8,15±0,05	9,4	3,11±0,02	8,14	32,34±0,14	6,65

В пределах указанных групп отдельные хромосомы не идентифицируются. Постоянные вторичные перетяжки, наблюдавшиеся более чем в 50 % метафазных пластинок, содержат две пары метацентрических хромосом. Они локализованы в дистальных районах хромосомных плеч. В медиальном районе плеча IV пары хромосом наблюдается непостоянная вторичная перетяжка с частотой встречаемости 38,7 %. VII пара субметацентрических хромосом также содержит непостоянную вторичную перетяжку в дистальном районе длинного плеча. Известно, что некоторые вторичные перетяжки являются ядрышкообразующими районами и местом локализации рибосомных локусов ДНК. Идиограмма хромосом лиственницы Гмелина из Якутии с учетом выделенных групп хромосом и распределения вторичных перетяжек приведена на рис. 2.

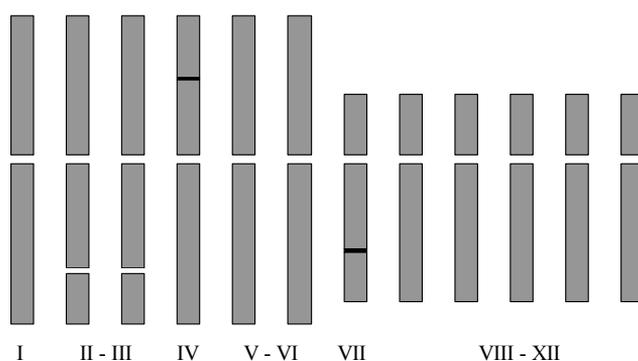


Рис. 2. Идиограмма хромосом лиственницы Гмелина из Якутии. I-XII – номера хромосом. Неокрашенным блоком показаны постоянные вторичные перетяжки, черным блоком – непостоянные

Для исследования ядрышкообразующих районов хромосом нами был использован метод флуоресцентной гибридизации *in situ* (FISH). В качестве маркеров использовались пробы рибосомных генов 5S и 45S рРНК (рис. 3).

Сигналы 45S рДНК выявлены на семи парах хромосом, они значительно различались по интенсивности и району локализации. Более выраженные (мажорные) локусы 45S рДНК обнаружены в дистальных районах трех пар хромосом: на коротких плечах IV пары, на длинных плечах III и

VII пар. Менее выраженные (минорные) сайты 45S рДНК выявлены в перичентромерных районах хромосомных пар I, II, VI и XII. Локусы 5S рДНК локализованы терминально на одной паре метацентриков (III).

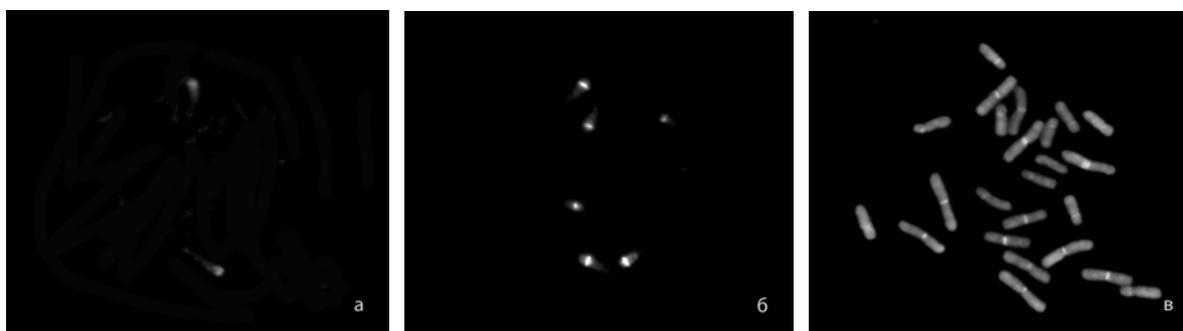


Рис. 3. Гибридизация *in situ* с пробами генов 5S (а) и 45S (б) рДНК на хромосомах *L. gmelinii* (в, DAPI-окраска)

Таким образом, мажорные сайты 45S рДНК совпадают с районами локализации постоянных вторичных перетяжек и являются ядрышкообразующими районами (ЯОР) хромосом. Морфологическим выражением активности ядрышкового организатора служит ядрышко – специализированный пуф, образующийся в телофазе митоза. Известно, что функционально активные ЯОР специфически окрашиваются нитратом серебра, которое взаимодействует с рибонуклеиновыми продуктами их транскрипционной активности. Окрашивание цитологических препаратов лиственницы Гмелина нитратом серебра показало, что функционально активными могут быть все мажорные сайты 45S рДНК, поскольку максимальное количество ядрышек равно шести (рис. 4). В большинстве клеток содержится $3,72 \pm 0,03$ ядрышка.

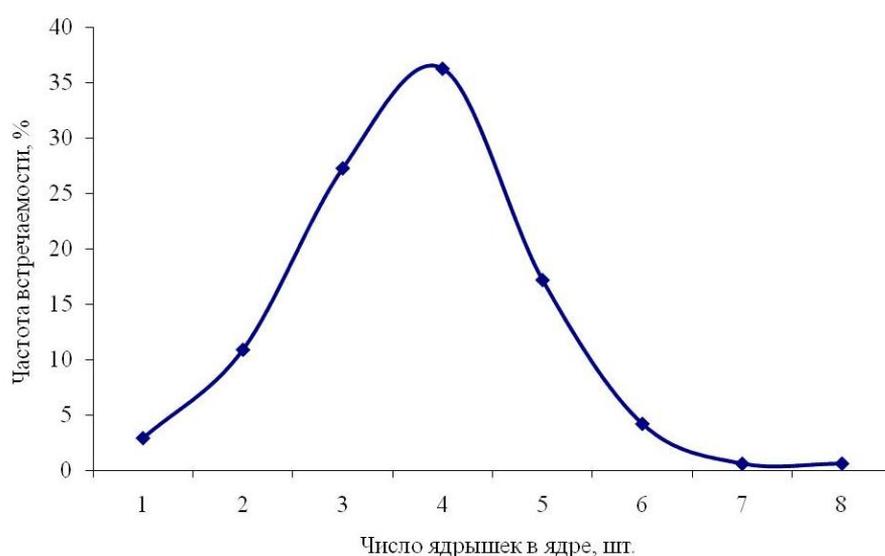


Рис. 4. Анализ ядрышек в интерфазных ядрах

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В диплоидном наборе листовенницы Гмелина содержится 24 хромосомы. Частота встречаемости миксоплоидных проростков, содержащих единичные клетки с измененным числом хромосом ($2n = 12$, $2n = 26$, $2n = 48$) у листовенницы Гмелина выше, чем у других видов хвойных по литературным данным, и составляет 39,1 %.

2. Частота встречаемости клеток с хромосомными мутациями у листовенницы Гмелина составляет 2,1 % и соответствует уровню естественного мутагенеза, установленному для других видов хвойных.

3. Кариотип изученной популяции содержит 6 пар (I-VI) длинных метацентрических и 6 пар (VII-XII) более коротких субмета- и субacroцентрических хромосом. В пределах выделенных групп хромосомы имеют сходные морфометрические параметры.

4. Использование FISH с пробами рибосомных генов показало, что у листовенницы Гмелина локусы 5S рДНК расположены терминально на коротком плече III пары хромосом. Гены 45S рРНК локализованы в дистальных районах III, IV и VII пар хромосом и соответствуют постоянным вторичным перетяжкам. Минорные сигналы 45S рДНК наблюдаются в перичентромерных районах I, II, VI, XII пар хромосом.

5. Максимальное количество ядрышек в интерфазных ядрах листовенницы Гмелина равно шести, что соответствует числу постоянных вторичных перетяжек и свидетельствует о функциональной активности мажорных локусов 45S рДНК.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-04-00063).

УДК 615.277.3: 615.9.065: 616-092.4

РЕЗОРБИРУЕМЫЕ ПОЛИМЕРНЫЕ МИКРОЧАСТИЦЫ В КАЧЕСТВЕ МАТРИКСА ДЛЯ ДЕПОНИРОВАНИЯ И КОНТРОЛИРУЕМОЙ ДОСТАВКИ ЦИТОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕПАРАТА *IN VIVO*

А.М. Кузьмина, А.В. Горева
Научный руководитель Е.И. Шишацкая
Сибирский федеральный университет

Конструирование систем пролонгированной доставки лекарственных систем относится к числу важнейших направлений современной

биотехнологии и фармакологии. Ключевым моментом создания контролируемых систем доставки лекарств является наличие адекватного материала, используемого в качестве матрикса. Такие системы особенно актуальны для лечения онкологических и длительно текущих инфекционных заболеваний. Лекарственные средства, депонированные в полимерный матрикс, не оказывают токсического действия на организм и обеспечивают длительное поддержание требуемого уровня лекарственного препарата на необходимый период времени. Перспективным материалом для создания таких матриксов являются полигидроксиалканоаты (ПГА), абсолютно безвредные для организма и обладающие комплексом необходимых физико-механических и медико-биологических свойств, включая деградируемость в биологических средах.

Целью работы является разработка долговременной лекарственной формы доксорубицина на основе ПГА на рост солидного варианта карциномы Эрлиха (КЦ) *in vivo*.

Оценкой исследования эффективности действия лекарственной формы доксорубицина *in vivo* стало состояние животных исследуемых групп, состав периферической крови, на основе гистологических данных развития и купирования опухолевого процесса (изменение диаметра бедра, некроз ткани опухоли, лимфацитарная инфильтрация, полнокровие капилляров).

В качестве полимерного носителя был взят полимер β -гидроксимасляной кислоты (полигидроксибутират, ПГБ). Образцы ПГБ синтезированы по технологии Института биофизики СО РАН; в качестве лекарственного препарата взят противоопухолевый антибиотик антрациклинового ряда – доксорубицин-ЛЭНС (ООО «ЛЭНС-Фарм»).

Методом испарения растворителя из двухкомпонентной эмульсии получены ПГБ микросферы, нагруженные доксорубицином 5 % от массы полимерного матрикса (средний диаметр составил $0,34 \pm 0,03$ мкм).

Лабораторным белым мышам вводили клетки КЭ в количестве 2,5 млн на одно животное для формирования модели солидной формы опухоли. В эксперименте было задействовано четыре группы животных, которым была привита КЭ в одинаковой дозе: отрицательный контроль – животные с развитием опухоли без применения цитостатического препарата; положительный контроль – животные с внутривенным введением свободного доксорубицина; две экспериментальные группы – животные с введением одной и двух курсовых доз препарата в виде полимерных микрочастиц местно (в области формирования опухоли).

При анализе картины крови у животных экспериментальных групп не обнаружено систематических изменений, выходящих за границы физиологической нормы и значимых различий по сравнению с интактными животными.

В первую неделю после начала лечения минимальный диаметр бедра в месте прививки опухоли был зарегистрирован в группе животных положительного контроля – $0,93 \pm 0,02$ см. Средний диаметр бедра животных получивших доксорубицин, депонированный в ПГБ микрочастицы в однократной дозе составил $1,16 \pm 0,05$ см. Максимальные значения данного показателя были у животных с привитой опухолью и не получавших препарата – $1,27 \pm 0,04$ см. Через 2 недели после получения препаратов отмечено увеличение среднего диаметра бедра животных во всех группах, но наиболее выраженное – у животных, получивших одну цикловую дозу доксорубицина в форме микрочастиц – 1,4 раза. К концу эксперимента значение среднего диаметра бедра у животных, не получавших лекарственный препарат, составило $1,7 \pm 0,03$ см, в то время как у животных, получавших свободный доксорубицин, не превысило $1,1 \pm 0,02$ см. Животные, получившие доксорубицин в форме ПГБ микрочастиц, имели более высокие значения среднего диаметра бедра – $1,48 \pm 0,05$ см, что может быть связано с отеком мышечных тканей вследствие разрушения микрочастиц и оттока токсического доксорубицина в окружающие ткани. Средний диаметр интактных животных к концу эксперимента изменился незначительно.

Помимо изменения среднего диаметра бедра на основе гистологических исследований оценивали структуру и морфологические показатели опухолевого процесса. Показано, что опухолевая ткань представлена резко атипичными крупными, полиморфными опухолевыми клетками, с атипичными крупными полиморфными ядрами, определяются атипичные гигантские многоядерные клетки и симпласты (рис.1).

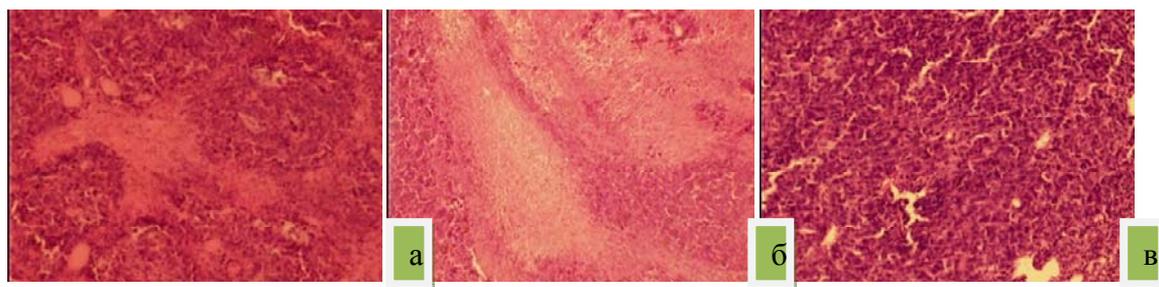


Рис. 1. Морфологическая структура опухолевой ткани спустя неделю после введения препарата: положительный контроль (а), экспериментальная группа (б), отрицательный контроль (в). (Светлые участки на препаратах – область некроз). Увеличение $\times 100$

Во всех группах отмечено формирование некрозов в опухолевой ткани щелевидного типа. Зона некроза представлена бесструктурными массами, ядерным детритом с наличием теней предшествующей ангиоархитектоники опухоли (рис. 1).

В группе положительного контроля некрозы в опухолевой ткани имели обширные поля ближе к центральным отделам опухоли, а по периферии (зона инфильтративного роста) опухолевая ткань сохранена. В экспериментальных группах некрозы в опухолевой ткани также были сформированы в виде крупных полей располагающихся в центральных отделах, более мелкие рассеяны по периферическим отделам хаотично.

Отмечено формирование фиброзной капсулы, что связано с ростом опухолевых клеток и зафиксировано во всех группах после начала лечения. Также показано увеличение фиброзной ткани у животных в экспериментальных группах, что, скорее всего, связано со скоплениями микрочастиц в опухолевой ткани.

У животных, получавших инкапсулированный доксорубицин, с увеличением скопления микрочастиц в опухолевой ткани увеличилось количество лимфоцитов, в результате чего образовался лимфоцитарный вал. У животных, получавших доксорубицин в свободной форме, выраженная лимфоцитарная инфильтрация отмечалась только на первых неделях лечения. В контрольной группе животных выраженная лимфоцитарная инфильтрация была отмечена к концу эксперимента (рис.2).

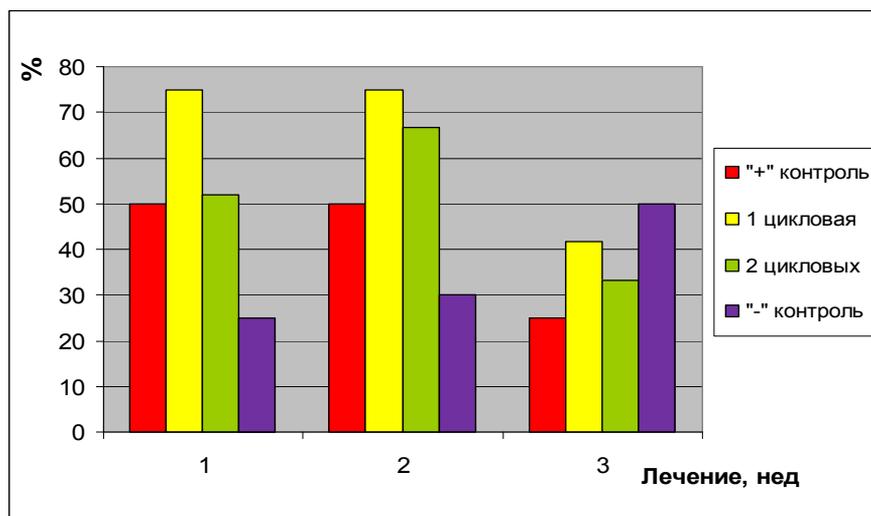


Рис. 2. Лимфоцитарная инфильтрация опухолевых клеток

В качестве показателя противоопухолевой эффективности оценивали площадь опухоли и некроза на срезе. Показано, что действие свободного доксорубицина было сопоставимо с инкапсулированным на первой неделе лечения, и площадь опухоли в среднем составила 75 % от площади опухолевой ткани на срезе. Начиная со второй недели, площадь опухоли в положительном контроле снизилась до 28 %, а в экспериментальной группе – до 46 %. Спустя еще одну неделю после начала лечения площадь опухолевой ткани в положительном контроле

и в первой экспериментальной группе (1 цикловая доза) были сопоставимы и составили в среднем около 37 %, а во второй экспериментальной группе (2 цикловых дозы) – на уровне 22 %.

Кроме того, уже начиная с первой недели лечения, наблюдали подавление пролиферативной активности опухолевой ткани с формированием полей некроза, достигающих до 30 % от площади опухолевой ткани на срезе у животных экспериментальных групп (рис.3). Спустя две недели лечения противоопухолевый эффект в положительной контрольной группе был выше, чем в экспериментальных группах. На третьей неделе лечения максимальное подавление развития опухоли отмечено во второй экспериментальной группе животных, которым вводили двойную цикловую дозу препарата, и составило порядка 78 %. В то время как животные в положительной контрольной группе и в первой экспериментальной группе, которым вводили одну цикловую дозу, не имели достоверных отличий. Следует отметить, что в отрицательном контроле на всех наблюдаемых этапах некроз в среднем составил порядка 18 %.

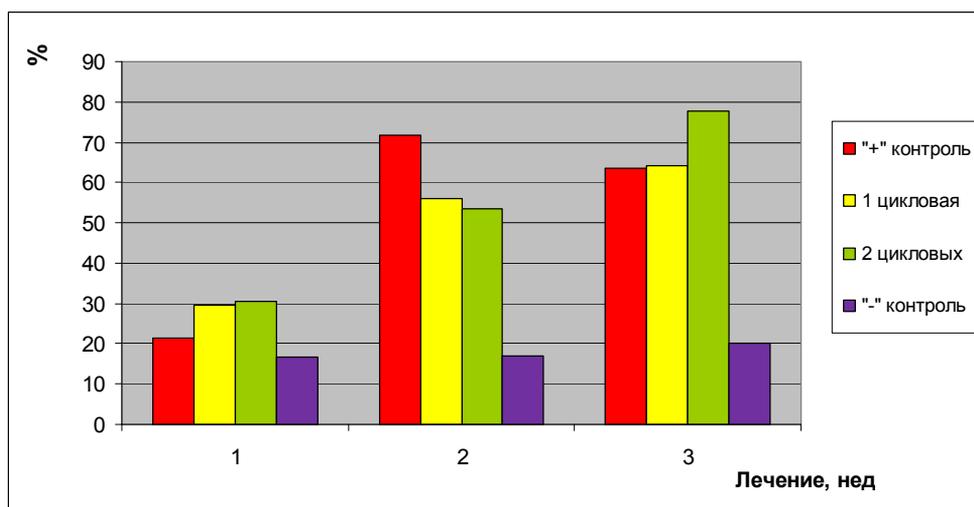


Рис. 3. Площадь некроза опухолевой ткани на срезе

Таким образом, результаты экспериментальной оценки противоопухолевой эффективности доксорубина, депонированного в микрочастицы из ПГБ на модели животных с солидной формой КЭ, показали, что возможно введение цитостатического препарата не только внутривенно, но и местно в область пальпации опухоли. Показано, что цитостатический препарат, вводимый лабораторным животным в свободной форме сопоставимо с инкапсулированной формой, тормозил развитие опухолевого процесса относительно группы животных, не получавших препарат. Важно отметить, что свободный препарат вводился еженедельно, в то время как препарат, депонированный в микрочастицы, вводился однократно.

**МОДИФИЦИРОВАННЫЕ НАНОАЛМАЗЫ ВЗРЫВНОГО
СИНТЕЗА В КОНСТРУИРОВАНИИ СИСТЕМ
БИОХИМИЧЕСКОЙ ИНДИКАЦИИ
МНОГОРАЗОВОГО ДЕЙСТВИЯ
(НА ПРИМЕРЕ СИСТЕМЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЛЮКОЗЫ)**

Е.С. Мамаева

Научный руководитель В.С. Бондарь
Сибирский федеральный университет

Развитие нанотехнологии открывает новые возможности более эффективного решения широкого спектра задач, возникающих в различных сферах деятельности человека. Внедрение наноматериалов и нанотехнологий в биологию, биотехнологию, медицину, фармакологию, экологию будет способствовать их выходу на новый качественный уровень. В этом направлении проводятся исследования наночастиц различной физико-химической природы, а список конкретных объектов и решаемых задач чрезвычайно широк.

Для специалистов, работающих в этой области, интерес могут представлять nanoалмазы, получаемые методом детонационного синтеза. Производство nanoалмазов взрывным синтезом осуществляется в России и ряде зарубежных стран (например, Китае, Украине, Болгарии), однако приоритет разработки этого метода принадлежит российским ученым.

До недавнего времени nanoалмазы применяли исключительно для решения технических задач. Между тем физико-химические свойства этих наночастиц, прежде всего выраженный химический полиморфизм поверхности позволяют рассматривать их как перспективный материал для применения в биотехнологии.

Нами продемонстрирована возможность применения nanoалмазов взрывного синтеза для конструирования системы индикации глюкозы. Ранее было установлено, что ферменты, адсорбированные на поверхности nanoалмазов, могут сохранять свою каталитическую функцию – это открывает возможности конструирования новых систем индикации и адресной доставки веществ на основе этих наночастиц.

Исследования выполнены с использованием модифицированных nanoалмазов (МНА), обладающих высокой коллоидной устойчивостью в дисперсионных средах и имеющих размеры кластеров 30 – 125 нм. Для экспериментов применяли гидрозоль с концентрацией МНА 10,0 г/л. В работе были использованы глюкозооксидаза и пероксидаза из наборов Glu-

cose LS (ProDia International, Германия), применяемых для определения глюкозы в сыворотке и плазме крови.

Тест-систему индикации глюкозы получали с помощью одновременной ковалентной иммобилизации указанных выше ферментов на поверхности частиц МНА, функционализированных бензохиноном (рис. 1).

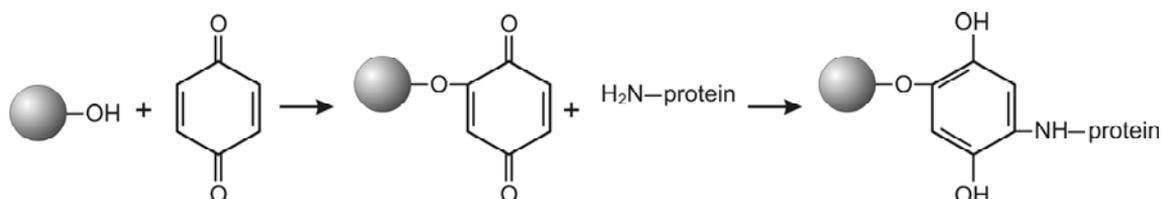


Рис. 1. Схема ковалентной иммобилизации ферментов на поверхности МНА

Частицы МНА с ковалентно иммобилизованными ферментами многократно отмывали раствором 0,25 М NaCl для удаления неспецифически адсорбированных белков. Активность полученного комплекса МНА-ферменты оценивали реакцией окислительного азосочетания (H_2O_2 –4-аминоантипирин–фенол). Реакция катализируется пероксидазой в присутствии H_2O_2 (генерируется при окислении глюкозы глюкозооксидазой) и сопровождается образованием окрашенного продукта реакции (хинонимин) (рис. 2). Образование окрашенного продукта контролировали спектрофотометрически при длине волны 500 нм.

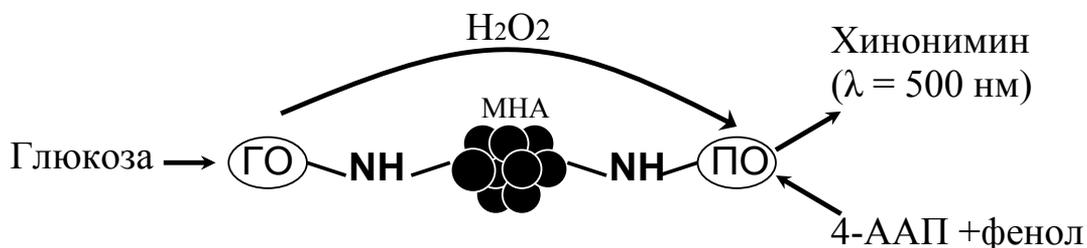


Рис. 2. Схема реакции окислительного азосочетания

Установлено, что ферменты, ковалентно иммобилизованные на частицы МНА, сохраняют свою функцию, катализируют цепь последовательных биохимических реакций, приводящих к образованию окрашенного продукта. Полученный комплекс МНА-ферменты может многократно (до 10 и более раз) использоваться для определения глюкозы *in vitro* (рис. 3).

Показано, что при концентрациях глюкозы в интервале 0.01 – 1.5 мг/мл, перекрывающем диапазон физиологических значений в крови человека, наблюдается практически линейный выход продукта реакции, катализируемой индикаторной системой. Установлено, что тест-система проявляет свою функциональную активность в течение месяца хранения при +4°C.

Обсуждаются перспективы практического использования полученной тест-системы для индикации глюкозы в биологических жидкостях.

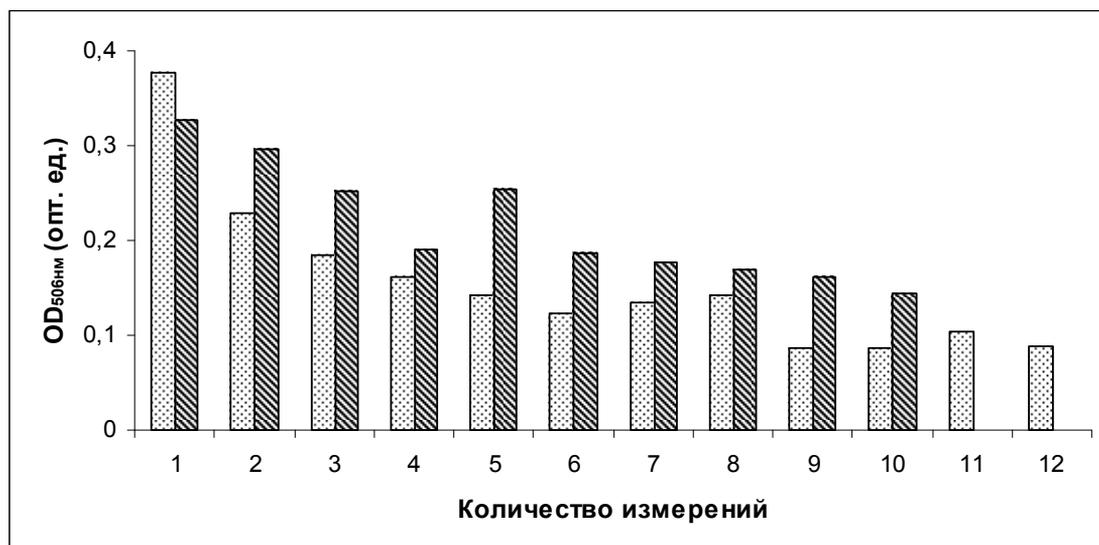


Рис. 3. Выход продукта реакции при многократном использовании тест-системы определения глюкозы

УДК 543.94, 577.151.03

ИММОБИЛИЗОВАННЫЕ В ЖЕЛАТИНОВЫЙ ГЕЛЬ ФЕРМЕНТЫ СВЕЯЩИХСЯ ОРГАНИЗМОВ КАК ОСНОВА РЕАГЕНТОВ ДЛЯ БИОЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА

А.Е. Безруких

Научный руководитель Е.Н. Есимбекова

Сибирский федеральный университет

Явление билюминесценции имеет широкий спектр применения в науке, медицине, экологическом мониторинге и других областях человеческой деятельности. Сопряжённая биферментная система светящихся бактерий NADH: FMN-оксидоредуктаза-люцифераза является, в частности, хорошим индикатором при биотестировании воды и воздуха на наличие загрязнений. Люцифераза светлячков, в свою очередь, входит в состав АТФ-реагента, используемого для экспрессного определения ультрамалых количеств АТФ и широко применяемого в методах «быстрой микробиологии» для определения биологической загрязнённости различных объектов.

Один из основных способов получения стабильных и удобных в использовании ферментных препаратов – это иммобилизация ферментов с

применением разного рода носителей. А наиболее перспективными носителями для создания иммобилизованных препаратов ферментов светящихся организмов как основы ферментативных биосенсоров являются нейтральные полисахаридные гели и гель на основе желатина. В работах, проведённых в лаборатории фотобиологии Института биофизики СО РАН, была продемонстрирована возможность получения чувствительного и высокоактивного реагента для билюминесцентного анализа путём иммобилизации биферментной системы светящихся бактерий NADH: FMN-оксидоредуктаза-люцифераза в крахмальный гель с последующим высушиванием. Однако данный иммобилизованный реагент теряет часть своей активности в процессе хранения. Также ранее было показано, что помещение ферментов светящихся бактерий в гидрогелевое окружение желатина способствует их стабилизации и увеличению выхода активности. Целью данной работы было получить иммобилизованные реагенты путём включения ферментов светящихся организмов в желатиновый гель с последующим высушиванием, изучить свойства полученных реагентов и их характеристики в процессе хранения.

В ходе работы были получены иммобилизованные реагенты двух видов: на основе АТФ-реагента, содержащего термостабильную мутантную люциферазу светляков *Luciola mingrelica* (4TS), и на основе комплекта реактивов аналитической билюминесценции (КРАБ), содержащего бактериальную люциферазу *P. leiognathi* и NADH: FMN-оксидоредуктазу *Vibrio fischeri*. Для иммобилизации ферменты вносили в раствор желатина, перемешивали, дозировали и затем высушивали. Иммобилизованный реагент на основе АТФ-реагента готовили путём нанесения тонким слоем 25 мкл АТФ-реагента, реконструированного в желатине, на дно полистирольных микрокювет с последующим формированием геля и высушиванием при комнатной температуре. При этом полученный иммобилизованный реагент был прочно связан с носителем (кюветой) и представлял собой тонкую прозрачную плёнку. Иммобилизованный реагент на основе биферментной системы светящихся бактерий готовили путём аликвотирования желатинового раствора с ферментами по 25 мкл на полиэтиленовую подложку. После высушивания реагент хорошо отделялся от подложки и представлял собой прозрачные диски размером 6 мм и весом 0,5 мкг.

Кинетические кривые билюминесценции иммобилизованного реагента на основе АТФ-реагента, в отличие от кинетических кривых для жидкого АТФ-реагента (как содержащего, так и не содержащего желатин), которые характеризуются монотонным падением сигнала с течением времени, представляют собой кривые с экстремумом. В случае иммобилизованного реагента первые 5–6 минут после запуска реакции происходит увеличение интенсивности свечения, после чего свечение выходит на плато и начинается медленное падение интенсивности билюминесценции.

Показано, что 15 %-е снижение биолюминесцентного сигнала в иммобилизованном реагенте наблюдается только через 20 минут, в то время как интенсивность свечения в жидком АТФ-реагенте падает на 15 % менее чем за две минуты. Полученные образцы иммобилизованного реагента на основе АТФ-реагента отличались высокой степенью воспроизводства биолюминесцентного сигнала, что даёт повод для рассмотрения возможности использования данного иммобилизованного реагента в качестве некоторого стандартного тест-объекта для биолюминесцентного анализа.

Также была исследована стабильность при хранении в условиях комнатной температуры иммобилизованного реагента на основе АТФ-реагента (рис. 1). Первые 4–5 суток биолюминесцентный сигнал иммобилизованного реагента не изменялся, далее наблюдалось постепенное снижение активности, объясняющееся испарением воды с поверхности реагента и уменьшением размера пор желатиновой гелевой сетки, и через 14 суток ферментативная активность упала в 8 раз. Однако, как было показано, процесс испарения воды из желатинового геля можно замедлить путём хранения иммобилизованного реагента при $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

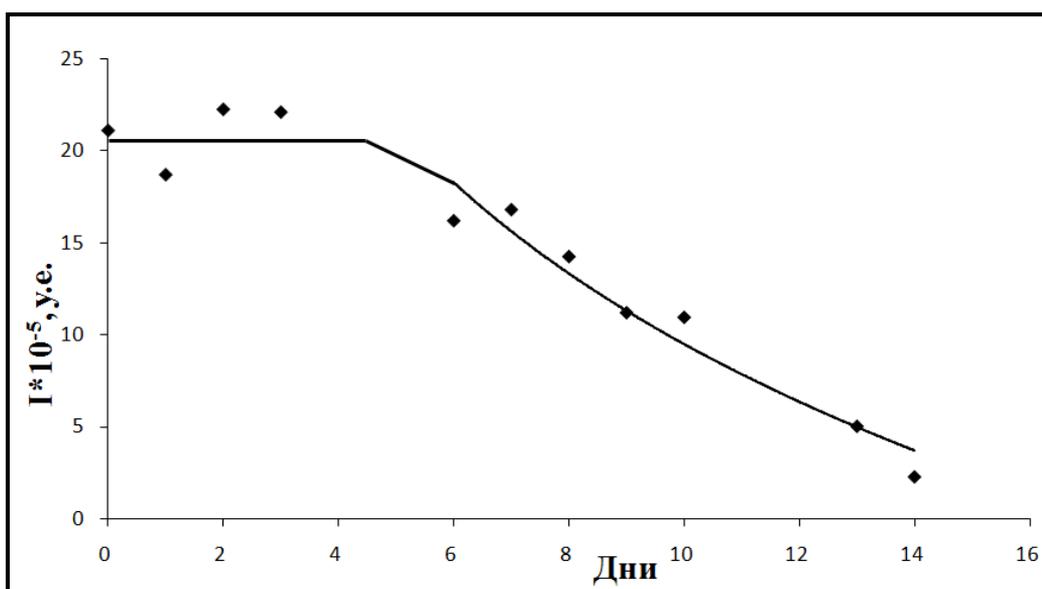


Рис. 1. Изменение интенсивности свечения иммобилизованного реагента на основе АТФ-реагента в процессе хранения при комнатной температуре

Для создания желатинового иммобилизованного реагента на основе биферментной системы NADH: FMN-оксидоредуктаза-люцифераза на первом этапе был выбран материал, используемый в качестве подложки для высушивания реагента. Для этого оценивали прочность, правильность формы и легкость отлипания реагента от следующих материалов: стекло, пластмасса, лавсан, полиэтилен и фольга. Наилучший результат был достигнут при использовании в качестве подложки полиэтилена.

Кинетические кривые биолюминесценции как иммобилизованной, так и растворимой биферментной системы NADH: FMN-оксидоредуктаза-люцифераза представляют собой кривые с экстремумом, однако в случае иммобилизованной системы существенно увеличивается время выхода биолюминесцентного сигнала на максимум: для иммобилизованного реагента оно составляет 8 мин, в то время как интенсивность свечения растворимой биферментной системы достигает своего максимального значения менее чем за минуту (рис. 2). При этом разброс полученных значений максимальной интенсивности биолюминесценции иммобилизованного реагента оказался достаточно велик и в некоторых случаях составил 30 %. Тем не менее этот факт не исключает возможности получения впоследствии стандартизированного иммобилизованного реагента данным способом.

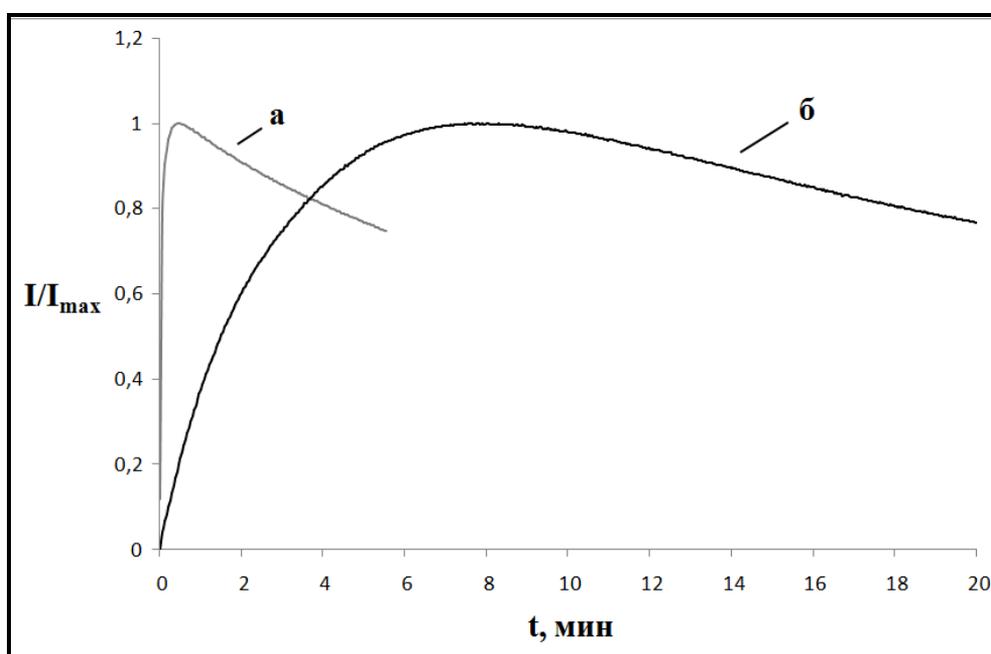


Рис. 2. Вид кинетических кривых свечения растворимой (а) и иммобилизованной в желатиновый гель (б) биферментной системы светящихся бактерий

Далее была изучена стабильность иммобилизованного реагента, полученного при разных температурах высушивания (комнатной температуре и 4 °С), а также хранящегося при разных температурах (комнатной температуре и 4 °С). Было выявлено, что непосредственно после высушивания иммобилизованный реагент, высушенный при температуре 4 °С, обладает большей ферментативной активностью, чем реагент, высушенный в условиях комнатной температуры (Рис. 3). При этом в обоих случаях интенсивность свечения оказалась выше, чем интенсивность свечения эквивалентного количества растворимой биферментной системы (на рисунке обозначена горизонтальной прямой линией). В процессе хранения наблюдалось снижение ферментативной активности иммобилизованного реагента.

та, высушенного при 4 °С, через 30 дней остаточная активность составила 40 % от первоначальной активности. Ферментативная активность иммобилизованного реагента, высушенного при комнатной температуре и хранящегося при 4 °С, по истечении 30 дней не изменилась, активность реагента, высушенного и хранящегося при комнатной температуре, снизилась лишь на 25 %. Необходимо отметить, что в последнем случае интенсивность свечения иммобилизованного реагента по-прежнему не ниже, чем интенсивность свечения эквивалентного количества растворимой биферментной системы.

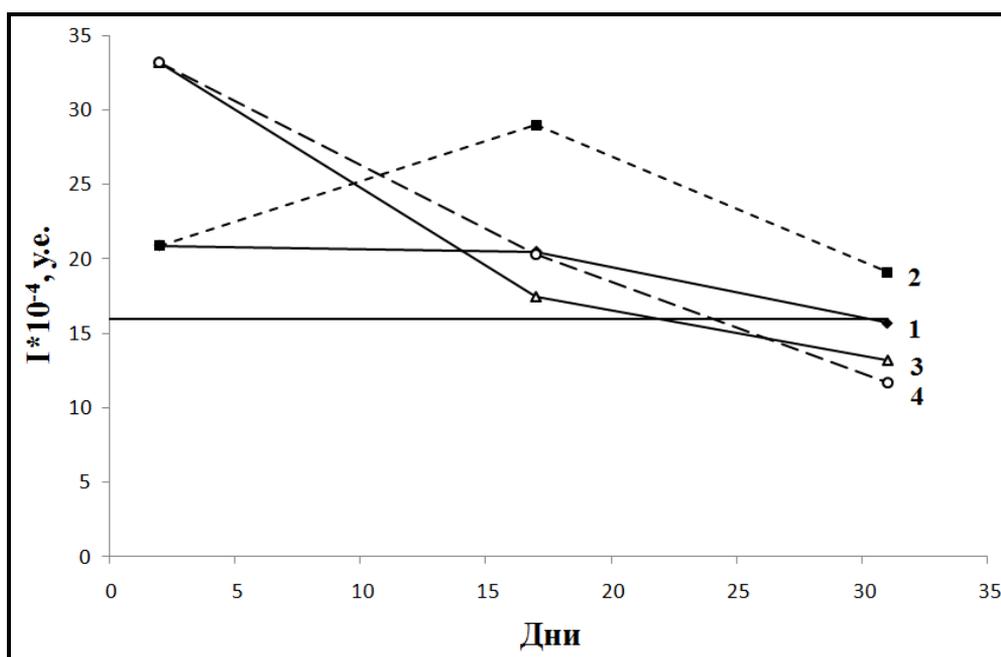


Рис. 3. Изменение интенсивности свечения иммобилизованного реагента на основе биферментной системы светящихся бактерий, полученного при разных температурах высушивания: комнатной (1,2) и 4 °С (3,4), в процессе хранения при комнатной температуре (1,3) и при 4 °С (2,4)

Таким образом, в результате проделанной работы на основе ферментов светящихся организмов были получены иммобилизованные реагенты путём включения ферментов в желатиновый гель с последующей процедурой высушивания. Кинетические характеристики полученных иммобилизованных реагентов значительно отличаются от характеристик ферментов в растворе. Наилучшей стабильностью в процессе хранения обладает иммобилизованный реагент на основе биферментной системы светящихся бактерий NADH: FMN-оксидоредуктаза-люцифераза.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федерального агентства по науке и инновациям (ФЦП «Научно-педагогические кадры инновационной России», государственный контракт № 02.740.11.0766), Министерства образования и науки Российской Федерации и Американского

фонда гражданских исследований и развития (гранты № 2.2.2.2/5309 и RUX0-002-KR-06/ВР4М02), Российской академии наук (программа «Молекулярная и клеточная биология»), а также Президента РФ (грант НШ 64987.2010.4).

УДК 577.21

НАРУШЕНИЕ ВТОРОГО ПРАВИЛА ЧАРГАФФА У МИТОХОНДРИАЛЬНЫХ ГЕНОМОВ И ЕГО СВЯЗЬ С ТАКСОНОМИЕЙ НОСИТЕЛЯ

Н.А. Зайцева

Научный руководитель М.Г. Садовский
Сибирский федеральный университет

Центральная задача системной биологии – выявление связи между структурой нуклеотидных последовательностей и функцией, которую они кодируют, либо таксономией носителей этих последовательностей. Настоящая работа посвящена выявлению этой связи. Данная задача может быть решена различными способами. Мы будем изучать корреляцию (связи) между группами (классами), выделяемыми исключительно статистическим свойствам, с классами, определяемыми посредством тех или иных биологически обусловленных связей между объектами.

Под структурой будем понимать словарь толщиной 3 (т. е. частоты триплетов, наблюдаемые в последовательности). Введём понятие частоты. Для этого рассмотрим непрерывную последовательность символов, состоящую только из четырёхбуквенного алфавита {A, C, G, T} длины N . Любую строку $\omega = v_1 v_2 v_3 \dots v_q$ назовем словом длиной q . Предметом исследований представленной работы являются слова, для которых $q = 3$. Подсчитаем число копий n_ω каждого слова длины 3. Таким образом, определим частоту как отношение числа копий данного слова к числу всех триплетов

$$f_\omega = \frac{n_\omega}{N}.$$

Исследование связи структуры и таксономии проводилось на генетическом материале митохондрий. Эти геномы весьма малы – характерная длина составляет порядка 10^5 нуклеотидов. Их особенности заключаются в отсутствии кроссинговера и высокой скорости мутирования, что позволяет

отследить число предков на большое количество поколений и изучить филогению (эволюционное родство) живых организмов. Кроме того, в геномах митохондрий наблюдается самый высокий уровень нарушений второго правила Чаргаффа. Поэтому, изучение нарушения симметрии, а также влияние этих нарушений на связь между структурой генома и видом его носителя задачи представленной работы.

1. Материалы и методы

Геномы были взяты из EMBL-банка (www.ebi.ac.uk/genoms/organelle.html), их общее число превышает 2000. Каждый геном был представлен в виде точки в 63-мерном либо 32-мерном пространстве. Для построения распределения была использована программа ViDaExpert (<http://bioinfo-out.curie.fr/projects/vidaexpert/>), проводящая классификацию методом динамических ядер и методом упругих карт. Ключевой задачей работы является проведение сравнительного анализа состава классов, полученных с помощью применения данных типов классификации.

2. Результаты и обсуждение

Основным механизмом исследования связи между таксономическим положением носителя генома и его структурой является построение автоматических классификаций для разных пространств. В настоящей работе мы использовали четыре пространства:

- 63-мерное пространство частот. Один из триплетов был исключён, поскольку на частоты триплетов наложена линейная связь. Выбор конкретного исключённого триплета особого значения не имеет.
- 32-мерное подпространство частот, включающее в себя те триплеты, которые являются «левыми» в комплиментарных палиндромических парах;
- 32-мерное пространство частот, включающее в себя те триплеты, которые являются «правыми» в комплиментарных палиндромических парах;
- 32-мерное пространство разностей частот двух триплетов, составляющих комплиментарные палиндромы.

2.1. Исследование состава класса в 63-мерном пространстве

На рис. 1 показано распределение геномов митохондрий в пространстве первых трёх главных компонент, при этом на каждом из маленьких рисунков показаны геномы, относящиеся к одной таксономической единице (сверху вниз и слева направо): лучеперые рыбы (А), насекомые (В), млекопитающие (С), архозавры и лепидозавры (D). Хорошо видно, что геномы одной таксономической группы очень плотно располагаются в про-

пространстве собственных компонент (и в естественных координатах – в пространстве частот, соответственно). Можно с очень высокой вероятностью ожидать, что геномы иных организмов, попадающих в таксон соответствующего уровня, также будут плотно располагаться в пространстве частот. При этом справедливо утверждение, «обратное» тому, которое показано на рис. 2: если геномы одного таксона компактно располагаются в пространстве часто (либо главных компонент), то построение классификации показывает, что один класс полученной классификации преимущественно наполнен геномами одного таксона.

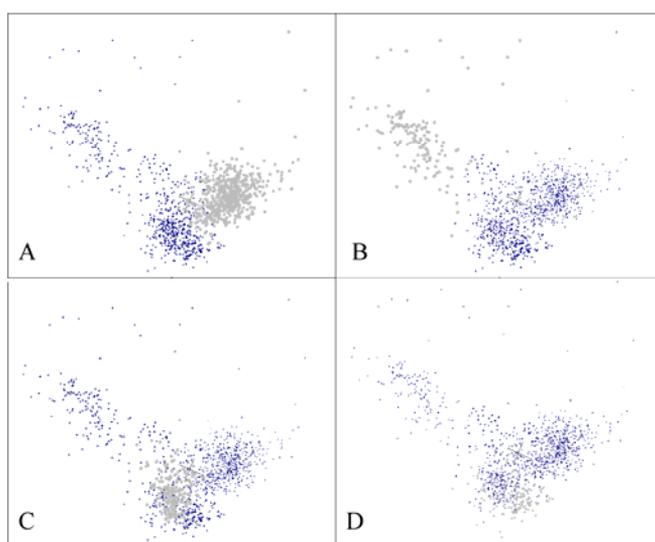


Рис. 1: Распределение 1132 геномов в пространстве первых трёх главных компонент. А - лучепёрые рыбы, В - новокрылые насекомые, С – млекопитающие, D – динозавры

В **первый класс** попадают геномы таксона Actinopterygii : 457 геномов этого таксона из 506. Во **второй класс** попадают геномы Neoptera (137 геномов), 8 геномов Amphibia и единственный геном Mammalia. Сложнее всего устроен **третий класс**. Он содержит 49 геномов таксона Actinopterygii, 39 геномов Amphibia, геномы Archosauria и Lepidosauria – 97 и 87 геномов соответственно, а также почти все геномы млекопитающих (210 геномов) и Testudines – 24 генома (все внутри одного класса); кроме того, в этот класс попали также 4 генома насекомых.

Анализ распределения геномов по классам показывает, что они распределяются весьма неслучайно, с точки зрения соответствия класса и таксона. Существенно большая часть одного таксона попадает в один класс, выделяемый по статистическим признакам. Таксон земноводных распределен между двумя классами; примечательно, что по разным классам разошлись в основном бесхвостые (первый класс) и хвостатые земноводные (частично второй и в основном третий класс).

Ключевой задачей для установления связи между структурой генома и таксономией носителя будет выявление и анализ триплетов, обеспечивающих разделение на классы.

2.2. Исследование симметрии в 32-мерном пространстве

32-мерные подпространства строятся следующим образом: для всех генетических систем показана близость частот слов (цепочек нуклеотидов), составляющих комплиментарные палиндромы: такие пары слов, которые читаются одинаково в противоположных направлениях с учётом замены нуклеотидов по правилу Чаргаффа. Примером такого комплиментарного палиндрома является пара АСТТGC ↔ GСААGT .

Из каждой пары, составляющей комплиментарный палиндром, произвольно был выбран один триплет, таким образом было сформировано два 32-мерных подпространства. Если бы симметрия была идеальной, то построенные классификации ничем бы не отличались. Различия в классификациях, в первую очередь в составе выделяемых классов, выявляет эффект нарушения симметрии.

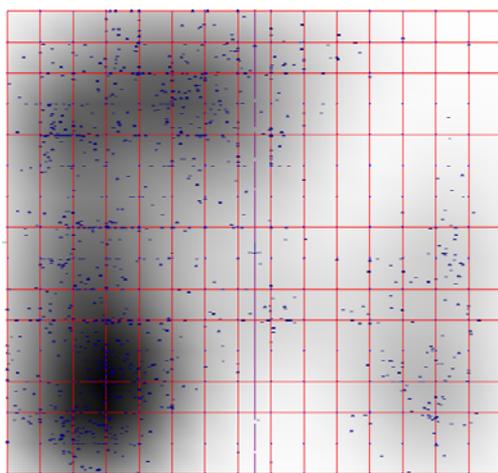


Рис. 2. Распределение 1132 геномов по упругой карте в 32-мерном пространстве частот триплетов, являющихся «левой» половиной комплиментарного палиндрома

Наконец, ещё одно 32-мерное пространство строится следующим образом: это пространство разностей частот

$$r_{\langle \omega, \omega' \rangle} = f_{\omega} - f_{\omega'},$$

двух триплетов ω и ω' , составляющих комплиментарный палиндром. Если бы симметрия была идеальной, то распределение геномов в данном пространстве было бы вырожденным: все координаты всех точек были равны нулю. Нарушение симметрии приводит к тому, что такое вырождение снимается.

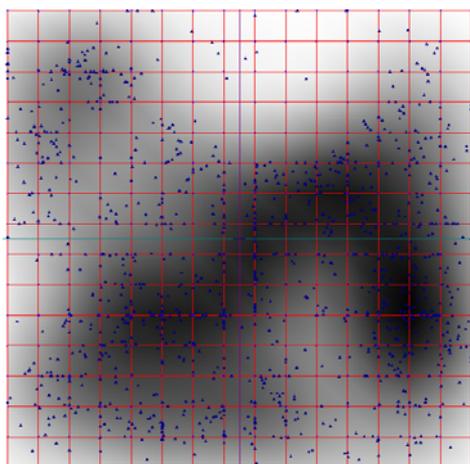


Рис. 3. Распределение 1132 геномов по упругой карте в 32-мерном пространстве частот триплетов, являющихся «правой» половиной комплиментарного палиндрома

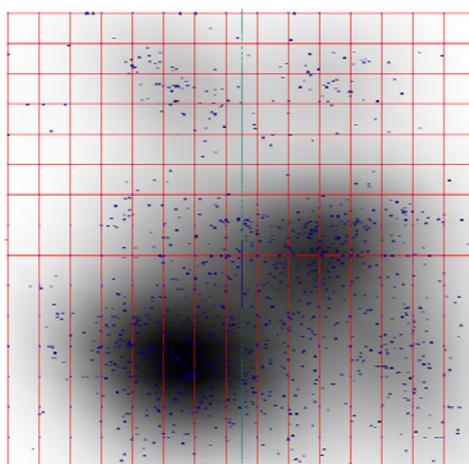


Рис. 4. Распределение 1132 геномов по упругой карте в 32-мерном пространстве разностей триплетов, составляющих комплиментарный палиндром.

Таким образом, можно утверждать, что различные геномы обладают разным уровнем нарушения симметрии. Кроме того, было выявлено, что не существует чёткой связи между нарушением симметрии и таксономией. Последнее означает, что нарушение симметрии не является продуктом отбора.

УДК 581.4.46 (571.51)

БИОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИЙ *STACHYS SYLVATICA*, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ГОРАХ ЮЖНОЙ СИБИРИ

О.В. Нефедова

Научный руководитель **И.Е. Ямских**
Сибирский федеральный университет

Stachys sylvatica L. относится к числу неморальных третичных реликтов. Данный вид встречается в черневых лесах, которые в последние годы интенсивно вырубаются, что и представляет угрозу исчезновения вида. Исследования проводились в северо-восточной части Западного Саяна, Горной Шории и окрестностях г.Красноярска. Объектом исследований служили 10 ценопопуляций чистеца лесного.

При оценке фитоценотической приуроченности *S.sylvatica* выявлено, что в северо-восточной части Западного Саяна вид произрастает в хвойных (пихтовых, сосновых, кедрово-пихтовых и кедрово-сосновых), осиновых лесах, а также в поймах рек. Отмечено проникновение вида на олуговевшие участки. Проективное покрытие *S.sylvatica* в различных местообитаниях варьирует от менее 1 до 3 %. Изучаемый вид предпочитает достаточно увлажненные местообитания, часто произрастает в поймах рек. В сообществах выполняет роль ассектатора. Сопутствующими видами для *S.sylvatica* в рассмотренных нами сообществах являются *Arsenjevia baikalensis* (Turcz.ex Ledeb.) Starodub., *Filipendula ulmaria* (L) Maxim., *Thalictrum minus* L.

Оценка индивидуальной изменчивости морфометрических признаков проводилась с помощью коэффициента вариации (Cv). В результате проведенных исследований выявлено, что большинство морфометрических признаков характеризуются средним и высоким уровнем изменчивости согласно шкале С.А. Мамаева (1972). Значения среднепопуляционного коэффициента вариации колеблются в пределах от 23,31 до 35,09 % в различных местообитаниях *S.sylvatica* и, как следствие, характеризуются высоким уровнем изменчивости.

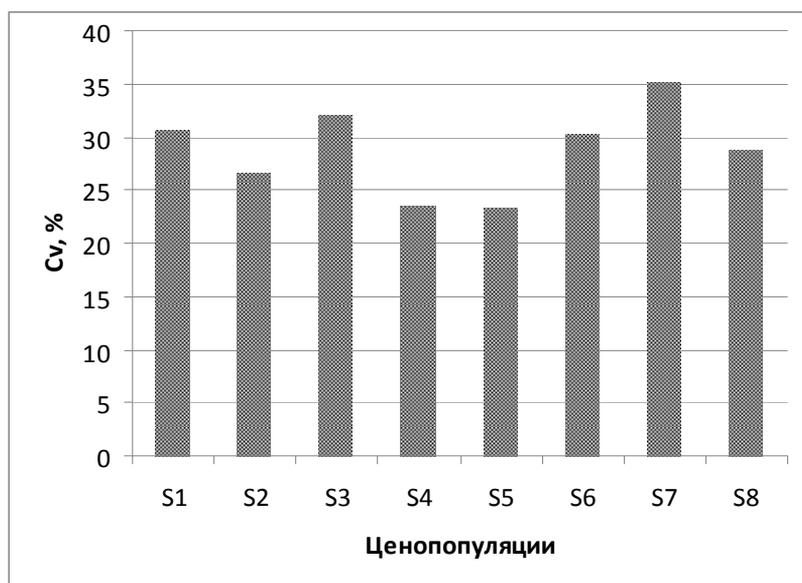


Рис. 1. Изменчивость признаков *Stachys sylvatica* по среднему коэффициенту вариации

Максимальный показатель среднего коэффициента вариации зафиксирован в ценопопуляции S7 (кедрово-пихтовый лес, долина р. Б. Кебеж), где он составляет 35,09 %. Также высокий уровень изменчивости был отмечен для особей, произрастающих в ивняке (пойма р. М.Кебеж, Червизюльский тракт) (S3), где $Cv = 32,08$ %. Наименьшая

вариабельность признаков отмечена для ценопопуляций S5 (сосняк, Червизюльский тракт) – 23,31 % и S4 (заросли черемухи, пойма р. М.Кебеж) – 23,51 %. (рис.1).

При проведении однофакторного дисперсионного анализа было выявлено, что изученные ценопопуляции достоверно различаются по длине стебля, количеству боковых побегов, длине листа, цветущей части стебля, длине зубчика чашечки, длине венчика и нижней губы.

Максимальная длина стебля отмечена у особей, произрастающих в зарослях черемухи, в пойме р. М. Кебеж и составила 108,2 см. Это может быть связано с наиболее благоприятными условиями произрастания, хорошим увлажнением и неяркой освещенностью (сомкнутость крон – 0,7). Кроме того, в рассматриваемом местообитании преобладают высокотравные виды, такие как *Matteuccia struthiopteris* (L)Tod., *Filipendula ulmaria*, *Dactylis glomerata* L., *Urtica galiopsisifolia* Wierzb. Ex Opiz, что способствует увеличению длины осевых органов чистеца лесного.

Самые крупные размеры параметров цветка (длина чашечки, длина зубчика чашечки, длина венчика и нижней губы) отмечены для ценопопуляции S8 (долина р. Чебижек), произрастающей в ивняке на обочине трассы, т. е. в нарушенном сообществе. Размеры вегетативных органов растений имеют здесь средние показатели. Однако для данной ценопопуляции отмечается достоверное снижение количества боковых побегов по сравнению с другими ценопопуляциями.

Наименьшая длина стебля, как и минимальные размеры всех морфометрических признаков, характерны для ценопопуляции, произрастающей в осиннике широколиственно-страусниковом (S1, хр. Веховой, водораздел). Это можно объяснить высокой конкуренцией со стороны других видов (*Aegopodium podagraria* L., *Brunnera sibirica* Stev., *Matteuccia struthiopteris*).

Кроме изучения внешних особенностей растений, был проведен корреляционный анализ. Было установлено, что общее количество достоверных корреляционных связей варьирует от 48 до 129 ($r > 0,36$ при уровне достоверности $P = 0,95$), из них сильных – от 10 до 57 (рис.2).

Максимальное количество достоверных связей (129) приходится на ценопопуляцию S2 (опушка осинника широколиственно-страусникового), а число сильных – 57. Здесь наблюдается объединение почти всех признаков в единую корреляционную плеяду (рис. 3). Это можно объяснить тем, что данная ценопопуляция произрастает в неблагоприятных условиях (опушка осинника). Крепость плеяды составляет 0,86.

Ценопопуляция S6 (пихтарник разнотравно-папоротниковый), характеризуется понижением уровня скоррелированности признаков. Количество достоверных признаков составляет 48. Центральное положение в корреляционных плеядах занимают такие признаки, как x_1 (длина стебля), x_2

(количество узлов), x_5 и x_6 (длина и ширина листовой пластинки), которые в дальнейшем могут быть использованы в качестве индикаторов.

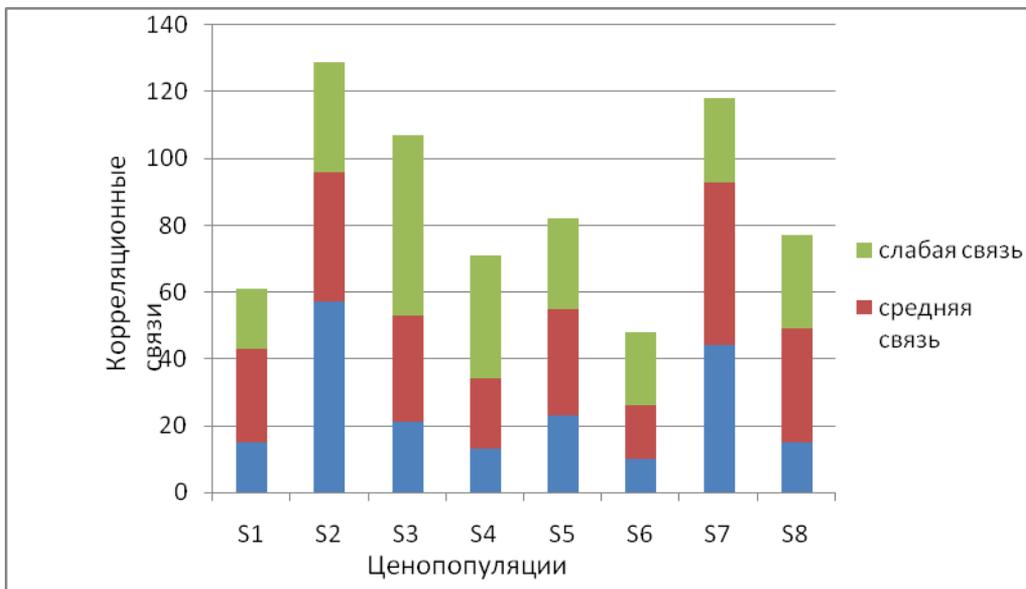


Рис. 2. Достоверные корреляционные связи между морфологическими признаками *Stachys sylvatica*

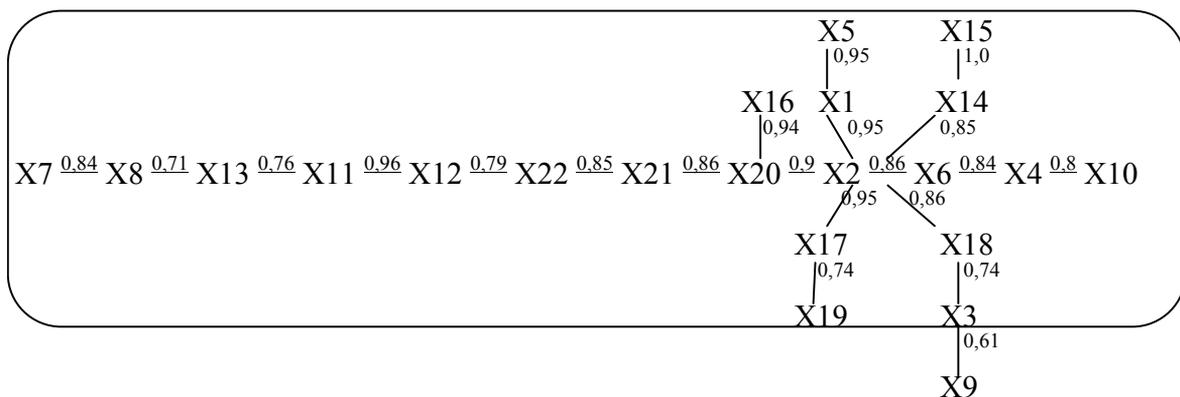


Рис. 3. Корреляционный дендрит признаков чистеца лесного ценопопуляции S2 (опушка осинника широколиственно-березового)

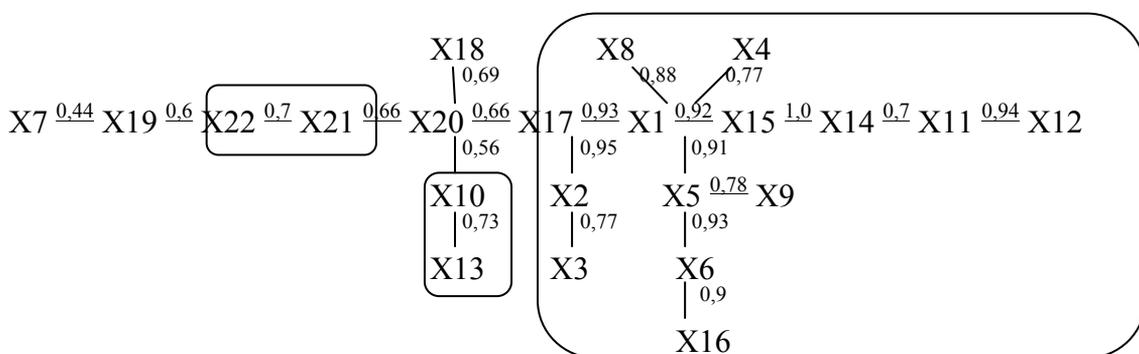


Рис. 4. Корреляционный дендрит признаков чистеца лесного ценопопуляции S7 (кедрово-пихтовый лес)

На корреляционных дендритах пяти ценопопуляций (S3, S4, S5, S6, S7) выделяются три плеяды с сильно взаимосвязанными признаками ($r > 0.7$). Наиболее тесно взаимосвязаны между собой количество цветущих мутовок и количество цветков (x14 и x15), длина и ширина прицветного листа (x11 и x12), длина нижней губы венчика и отношение длины венчика к длине губы x20/x21 (x21 и x22). Во всех случаях удаленным от основных кластеров является количество цветков в мутовке (x16).

По результатам исследований можно сделать такие выводы: оптимальными условиями для произрастания чистеца лесного являются поймы рек. Наибольшие размеры вегетативных органов отмечены для ценопопуляций S4 (заросли черемухи, пойма р. Кебеж), S6 (пихтарник разнотравно-папоротниковый, устье Алеева ключа), S7 (рис. 4) (кедрово-пихтовый лес, дол. р. Б. Кебеж близ устья Староверского ключа). Максимальные размеры генеративных органов зафиксированы для ценопопуляции S8 (ивняк, обочина дороги). Снижение морфометрических показателей наблюдается у особей из осинника широколиственно-страусникового (S1).

Ценопопуляции, произрастающие в нарушенных местообитаниях (S2), характеризуются повышением уровня скоррелированности признаков. Это может быть связано с реакцией растений на стресс, выраженной в ускоренных темпах прохождения стадий онтогенеза.

УДК 630*561.24: 582.47

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ДЕНДРОКЛИМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЕРЕВЬЕВ ВИДА *ABIESSIBIRICALEDEB.* НА ЮГЕ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

И.А. Петров

Научный руководитель П.П. Силкин

Сибирский федеральный университет

К настоящему времени известно, что для проведения дендроклиматических исследований наиболее оптимальными объектами являются деревья хвойных видов, так как они долговечны, имеют хорошо различимые годичные кольца, а их прирост чувствителен к изменениям внешних условий. Но, несмотря на это, некоторые виды, обладающие значительной долей в лесообразовании для определенных регионов, на сегодняшний день мало исследованы. К таким видам относится пихта сибирская (*AbiessibiricaLedeb.*).

Цель работы: провести сравнительный дендроклиматический анализ деревьев вида *Abiessibirica* Ledeb. для различных местообитаний на территориях Северной Хакасии и национального парка Ергаки.

Задачи: сбор материалов, построение индивидуальных хронологий для модельных деревьев по ширине годичных колец, построение стандартных и остаточных древесно-кольцевых хронологий для каждого местообитания, проведение корреляционного анализа связи прироста древесины с климатическими параметрами, проведение сравнительного анализа между полученными с различных местообитаний данными.

Объект исследований: в качестве объектов исследований были выбраны модельные деревья с трех различных местообитаний.

Одно из них («Коммунар») находилось в окрестностях села Коммунар Ширинского района ($54^{\circ}19'$ с.ш., $89^{\circ}10'$ в.д.). Пробная площадь располагалась в горно-таежном поясе на высоте 1125 метров над уровнем моря. Растительность представлена субальпийским высокоотравьем, из древесных видов преобладают пихта и береза.

Вторая площадь («Буйба») располагалась в районе Буйбинского перевала на территории национального парка Ергаки ($52^{\circ}55'$ с.ш., $93^{\circ}14'$ в.д.). Растительность представлена крупнотравно-ветреницевым пихтарником. Сама точка сбора находилась на северо-западном склоне хребта Кулумыс в горно-таежном поясе на высоте 978 метров над уровнем моря.

Третье местообитание («Лежневка») было выбрано в нижней части пологого шлейфа северного склона хребта Кулумыс ($53^{\circ}02'$ с.ш., $92^{\circ}54'$ в.д.) на высоте 520 метров над уровнем моря. В этом месте произрастают производные пихтово-осиновые леса, сформировавшиеся после условно-сплошных рубок леса.

Для проведения дендроклиматического анализа использовались данные с метеостанций Ненастная ($54^{\circ}45'$ с.ш., $88^{\circ}49'$ в.д.) и Оленья Речка ($52^{\circ}48'$ с.ш., $93^{\circ}14'$ в.д.). На климатических диаграммах (рис. 1) показаны средний ход температуры и распределение осадков в районах исследования.

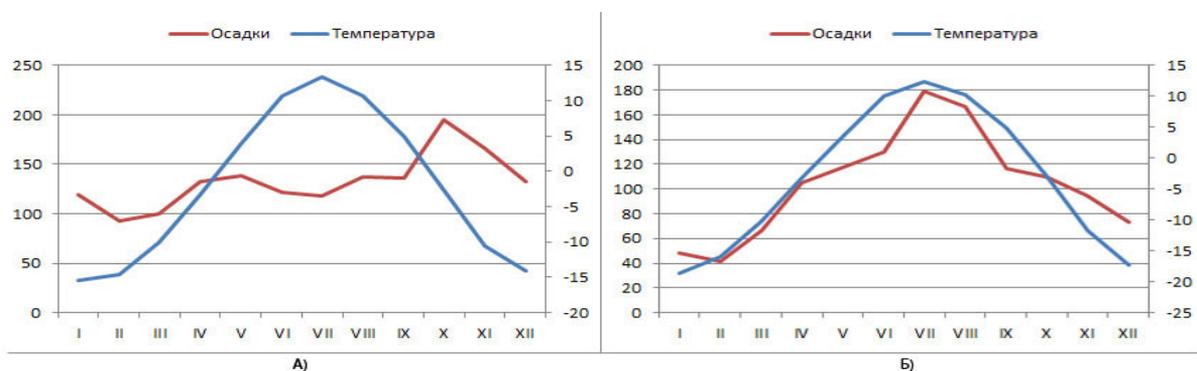


Рис. 1. Климатограммы для исследуемых районов:

А – составлена по данным с метеостанции Ненастная (Хакасия),
Б – составлена по данным с метеостанции Оленья Речка (Ергаки)

Методы исследований: Изъятие образцов проводилось с помощью возрастного бурава на высоте 1,3 метра. Измерение ширины годичных колец и перекрестная датировка проводились в соответствии с общепризнанной методикой. Статистическая проверка качества проведения перекрестной датировки выполнена с помощью специализированной программы COFESHA. Для удаления из показателей прироста возрастного тренда была проведена процедура детрендривания с помощью программы ARSTAN.

Для всех местообитаний были построены стандартные и остаточные хронологии, которые использовались для сопоставления с основными климатическими параметрами. Предпочтение отдавалось остаточным хронологиям, так как у них максимально устранены автокорреляционные составляющие и наиболее выражен климатический сигнал. С помощью программы STATISTICA были рассчитаны коэффициенты корреляции между индексами прироста и среднемесячными климатическими данными. Расчеты проводились с августа предшествующего года по сентябрь текущего. Таким образом, были получены показатели первичного климатического отклика для каждого местообитания.

Полученные результаты: По результатам исследования были построены стандартные и остаточные древесно-кольцевые хронологии (рис. 2–4). Сравнительные параметры хронологий представлены в таблице.

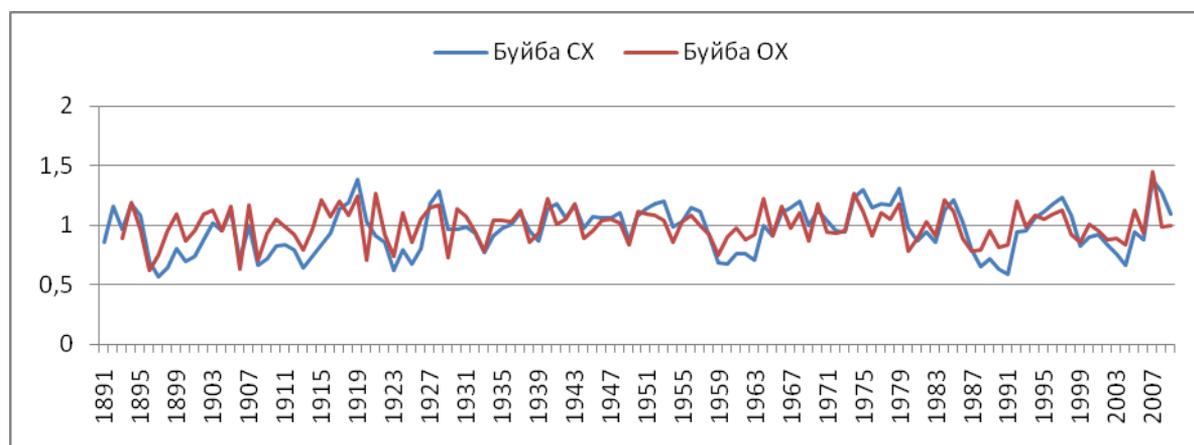


Рис. 2. Стандартная (СХ) и остаточная (ОХ) хронологии для точки Буйба

Как видно из таблицы, наибольший абсолютный прирост наблюдается на площади «Лежневка». Это объясняется почти сплошной рубкой леса, проведенной в 30–40-е годы XX в. В процессе вторичной сукцессии в отсутствие сильных подавляющих факторов со стороны более старого древостоя на месте рубок развились густые пихтово-осиновые леса. В результате там наблюдается как наибольшее среднее, так и самое большое максимальное значения прироста. Все сообщества представляют собой практически сплошной древостой. Это характеризуется относительно низкими

значениями коэффициента чувствительности и повышенными показателями коэффициента автокорреляции.



Рис. 3. Стандартная (CX) и остаточная (OX) хронологии для точки Лежневка

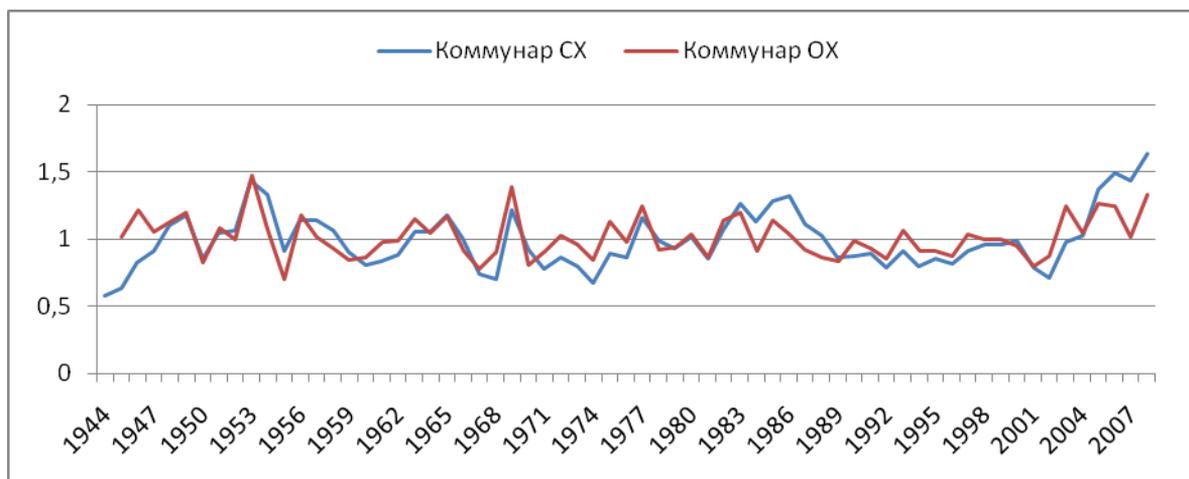


Рис. 4. Стандартная (CX) и остаточная (OX) хронологии для точки Коммунар

Таблица. Сравнительные характеристики хронологий для различных пробных площадей

Название места исследования	Количество лет	Среднее значение прироста, мм	Максимальное значение прироста, мм	Коэффициент автокорреляции	Коэффициент чувствительности
Лежневка	93	2,49	8,08	0,777	0,21
Буйба	119	1,96	6,77	0,768	0,195
Коммунар	65	1,35	4,98	0,892	0,201

Несмотря на относительно низкие уровни коэффициентов чувствительности, на всех точках отмечается связь прироста древесины с различ-

ными климатическими показателями. Коэффициенты корреляции индексов прироста остаточных хронологий с температурой и осадками представлены на рис. 5 и 6 (для точек «Буйба» и «Лежневка» – с данными метеостанции «Оленья Речка», для точки «Коммунар» – с данными метеостанции «Ненастная»).

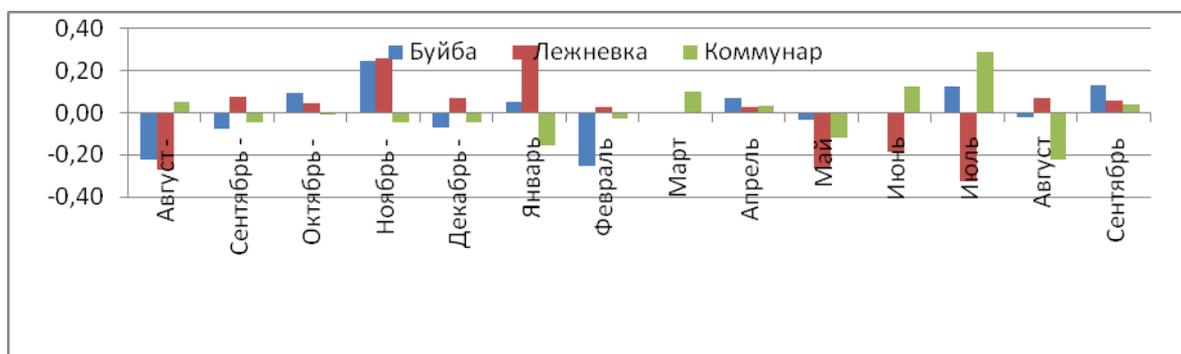


Рис. 5. Коэффициенты корреляции индексов прироста со среднемесячной температурой

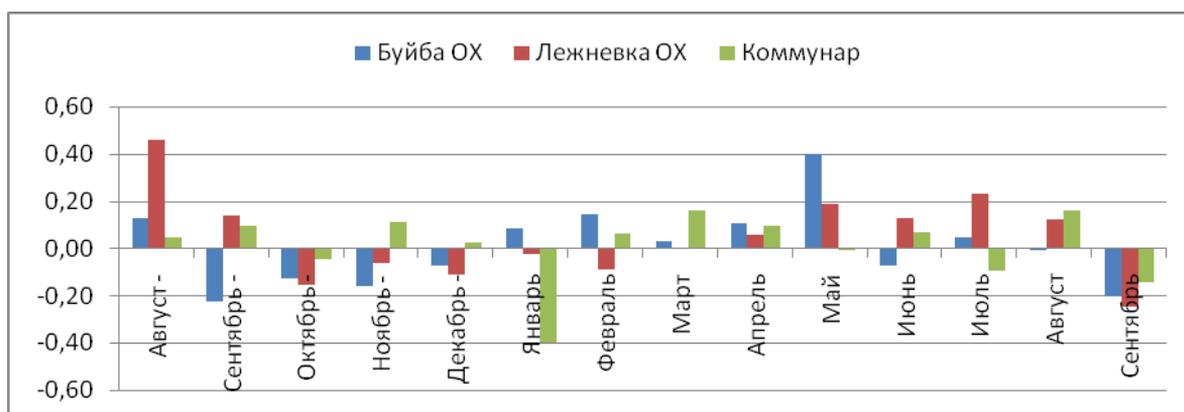


Рис. 6. Коэффициенты корреляции индексов прироста с суммой осадков

Сильная связь прироста с температурой июля проявилась только у деревьев с точек «Коммунар» ($r = 0,29$, $p < 0,05$) и «Лежневка» ($r = -0,33$, $p < 0,05$). При этом температура июля объясняет 5 % погодичной изменчивости для точки «Лежневка» ($R = -0,23$; $F = 4,47$; $p < 0,04$). Тот же параметр на точке «Коммунар» равен 8 % ($R = 0,28$; $F = 5,27$; $p < 0,025$). Высокие коэффициенты корреляции прироста с температурой августа прошлого года и января у деревьев на точке «Лежневка», по-видимому, носят случайный характер, так как объяснения данному явлению пока нет. Высокий коэффициент корреляции с суммой осадков за месяц наблюдается на точке «Буйба» для мая ($r = 0,40$, $p < 0,05$) и на точке «Лежневка» для августа прошлого года ($r = 0,46$, $p < 0,05$). Для точки «Буйба» осадками объясняется 7 % погодичной изменчивости прироста ($R = 0,259$; $F = 2,81$; $p < 0,12$), для Лежневки – 20 % ($R = 0,451$; $F = 9,68$;

$p < 0,036$). Наблюдается также влияние атмосферного давления на прирост древесины в точке «Лежневка» для мая и июня (для обоих месяцев $r = -0,49$, $p < 0,05$). Причем влиянием давления мая объясняется 19 % ($R = -0,44$; $F = 10,07$; $p < 0,028$), а июня – 6 % ($R = -0,25$; $F = 2,79$; $p < 0,103$). Те же показатели для точки «Буйба» находятся на пограничном уровне, но не пересекают уровень значимости ($r = -0,3$ для мая и $r = -0,29$ для июня). Высокие коэффициенты корреляции прироста деревьев на точке «Коммунар» с давлением и осадками января опять же объясняются случайным совпадением.

УДК 574.587

ЗООБЕНТОС СРЕДНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ЕНИСЕЙ КАК ОБЪЕКТ КОРМОВОЙ БАЗЫ ХАРИУСА СИБИРСКОГО (*THYMALLUS ARCTICUS*, PALLAS)

Е.М. Семёнова

Научный руководитель С.П. Шулепина
Сибирский федеральный университет

Енисей – одна из крупнейших рек России. Образована слиянием двух рек – Бий-Хем и Каа-Хем. Длина реки составляет 4102 км. Площадь водозбора Енисея 2580 тыс.км². Енисей по праву считают наиболее глубокой рекой в стране, глубина колеблется от 9 м до 70 м. Ширина Енисея достигает от 500 м до 40 км. Енисей – быстрая, прожилистая река. Скорость течения от 2 до 5–7 м/с.

Енисей с давних пор притягивал к себе людей своими рыбными запасами, в первую очередь лососей. Лососевидные рыбы являются одними из наиболее ценных промысловых видов рыб. Немаловажно также, что эти виды являются уникальными объектами спортивного любительского рыболовства, которое очень интенсивно развивается в последние годы во многих странах (в том числе и в России) и служит источником значительных доходов.

Проблема использования кормовой базы и обеспеченности рыб пищей приобретает первостепенное значение при разработке мероприятий по увеличению рыбопродуктивности водоемов, и прежде всего там, где ведется направленное изменение ихтиофауны, которое в той или иной степени меняет трофические связи в сообществе рыб. Для определения степени использования кормовой базы необходимо иметь данные о численности и биомассе кормовых организмов и состав пищевого комка рыб в водоеме.

Материалы и методы

Отбор проб бентоса для количественного анализа производился скребком Г.Д. Дулькейта (площадь захвата 0,1 м²) в июле 2010 г. на пяти участках: ст. 1, ст. 2, ст. 3 – в районе населенного пункта д. Кононово, ст. 4 – в районе д. Хлоптуново, ст. 5 – в районе д. Атаманово. Грунт на станциях представлен илом, галькой и песком, глубина отбора проб 0,3–0,5 м.

Всего собрано и обработано 30 проб бентоса. Параллельно с отбором проб бентоса велся отлов хариуса сибирского для изъятия желудочно-кишечного тракта с целью определения состава пищевого комка.

Хариус сибирский (*Thymallus arcticus*, Pallas) распространен почти по всему Енисею. Главные места обитания хариуса находятся от верховьев до Подкаменной Тунгуски.

Хариусы являются животными рыбами, они потребляют преимущественно водные формы насекомых и ракообразных. В летний период спектр питания обычно расширяется за счет воздушных насекомых.

В целом качественный состав пищевых комков хариуса в водотоках соответствует составу организмов макрозообентоса. Количественный состав пищевых компонентов определяется обилием отдельных групп в донных сообществах, особенностями их распределения по водотоку и избирательностью питания рыб. В некоторых случаях селективность питания может проявляться на уровне предпочтения организмов наибольшего размера.

Результаты и обсуждения

В составе зообентоса исследованного района р. Енисей зарегистрировано 12 видов и форм донных беспозвоночных, из них личинок двукрылых (отр. Diptera) – 4, амфипод (отр. Amphipoda) – 3, малощетинковых червей (кл. Oligochaeta) – 2. Остальные группы бентофауны: моллюски (тип Mollusca), личинки ручейников (отр. Trichoptera) и стрекоз (отр. Odonata) представлены единично (см. табл.).

В донном сообществе чаще других встречались личинки хирономид *Pseudodiamesa nivosa*, ручейников *Anabolia servata* и гаммарусы *Eulimnogammarus viridis*.

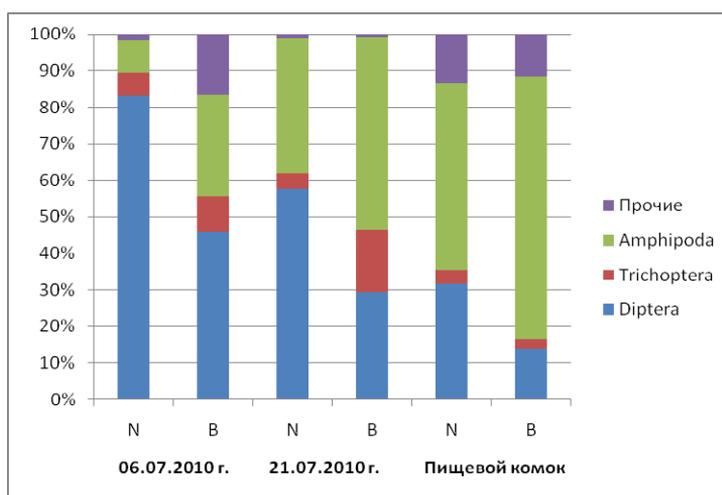
По численности в пробах преобладали личинки хирономид и типулид, относящиеся к группе Diptera (до 83 % от общей численности), основной вклад в биомассу вносили личинки двукрылых (до 46 % от общей биомассы) и амфиподы (до 53 % от общей биомассы) (см. рис.).

Анализ содержимого 86 кишечника сибирского хариуса, отловленного в июле 2010 г., показал, что в данный период основу питания составляли амфиподы. В пищевых комках отмечены представители отрядов двукрылых, ручейников, стрекоз, поденок, веснянок, класса брюхоногих моллюсков. По частоте встречаемости доминировали амфиподы (до 100 %

встречаемости во всех кишечных трактах), при этом их доля варьировала в пределах 50–70 % от массы пищевых комков. Это связано с тем, что хариус, полагается на зрительную рецепцию и избирательно потребляет более заметных на поверхности грунта донных беспозвоночных.

Таблица 1. Видовой состав зообентоса р. Енисей, июль 2010 г.

Вид	Станция	06.07. 2010 г.					21.07. 2010 г.				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Oligochaeta <i>Tubifex tubifex</i> , Müller			+				+				
<i>Eiseniella tetraedra</i> , Savigny			+		+						
Mollusca <i>Lymnaea ovata</i> , Draparnaud			+	+					+	+	
Amphipoda <i>Eulimnogammarus viridis</i> , Dybowski			+	+	+	+		+	+	+	+
<i>Eulimnogammarus cyaneus</i> , Dybowski			+	+	+			+			
<i>Gmelinoides fasciatus</i> Stebbing					+	+				+	+
Diptera <i>Pseudodiamesa nivosa</i> , Goetghebuer		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Diamesa baicalensis</i> , Tshernovskij		+	+	+				+	+		+
<i>Prodiamesa olivacea</i> , Meigen							+				
<i>Tipula sp.</i> , Linne						+					
Trichoptera <i>Anabolia servata</i> , McLachlan			+	+	+	+	+	+	+	+	
Odonata <i>Ischnura elegans</i> , Van der Linden			+								



Численность (N, %) и биомасса (B, %) зообентоса в пробах и в пищевой комке хариуса р. Енисей, июль 2010 г.

Согласно данным Н.Н. Панькова (2008), хариус р. Сылвы (Пермский край) питается исключительно беспозвоночными животными – в желудках этих рыб не встречены водоросли, детрит, рыба икра и мальки, часто отмечаемые другими исследователями. Основу рационов составляли организмы бентоса, на долю которых приходилось в среднем 87,7 % веса пищевых комков; оставшиеся 12,3 % образовывали наземные членистоногие.

В составе зообентоса исследованного района р. Енисей отмечены представители групп Amphipoda, Oligochaeta, Mollusca, Chironomidae, Tipulidae, Trichoptera, Odonata. Основу численности (до 93 %) и биомассы (до 85 %) составляли личинки двукрылых и амфиподы, являющиеся кормовыми объектами для хариуса сибирского. Таким образом, на исследованных участках реки Енисей существуют благоприятные кормовые условия для питания хариуса.

УДК 616-005.6, 61: 575

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕНОТИПИЧЕСКИХ ПРОЯВЛЕНИЙ ГЕТЕРОЗИГОТНОГО СОСТОЯНИЯ ГЕНОВ КОАГУЛЯЦИОННОГО ФАКТОРА V И ПРОТРОМБИНА

А.В. Петухова, У.В. Зыкова
Научные руководители Т.Н. Субботина
Сибирский федеральный университет

На сегодняшний день по данным Росстата ведущими причинами смертности населения РФ являются болезни системы кровообращения. Структуру этих заболеваний составляют такие патологические состояния, как инсульты, инфаркты, тромбозы, тромбоэмболии и др. Очевидно, что в развитии данных болезней участвуют различные факторы – как внешне-средовые, так и генетические.

Безусловно, особое значение при этом имеет гемостаз. Под гемостазом понимают совокупность механизмов, которые обеспечивают: сохранение жидкого состояния крови, предупреждение и остановку кровотечений, а также целостность кровеносных сосудов. Условно гемостаз принято подразделять на сосудистый, тромбоцитарный и плазменный. Плазменный гемостаз представляет собой каскад последовательных превращений, происходящих с участием 13 факторов свертывания.

Факторы свертывания – это белки плазмы крови, в результате последовательного взаимодействия которых образуется нерастворимый белок фибрин. Именно фибрин играет важнейшую роль в образовании кровяного

сгустка. Результатом этого может быть остановка кровотечения при ранении сосуда. При таких состояниях, как воспаление, прием гормональных контрацептивов, атеросклероз, стресс и т. д. инициируется чрезмерное образование фибрина, что в свою очередь может привести к сосудистым катастрофам.

Исследования системы гемостаза показали, что на образование тромбов большое влияние оказывают генетические полиморфизмы в генах факторов свертывания крови. Наибольшее клиническое значение имеют мутация в *гене фактора Лейдена* (V фактора) и мутация в *гене протромбина* (II фактора). Оба этих фактора играют важную роль в каскаде свертывания крови.

При реализации процесса свертывания крови на одном из этапов осуществляется активация V фактора, который способен совместно с ионами Ca^{2+} и активированным Ха фактором на фосфолипидной поверхности создать протромбиназный комплекс (см. рисунок).



Роль V фактора в каскаде свертывания крови

Функция протромбиназного комплекса заключается в отщеплении от молекулы *протромбина* пептидных фрагментов, при этом протромбин превращается в тромбин. Тромбин же осуществляет полимеризацию фибрина из фибриногена.

Тромбин также способен по принципу отрицательной обратной связи взаимодействовать на эндотелии сосуда с тромбомодулином. Образовавшийся комплекс активирует белок противосвертывающей системы – протеин С. Именно активированный протеин С (APC) разрушает Va фактор свертывания крови, блокируя тем самым образование тромбина.

Известно, что одной из важнейших причин тромбофилии является устойчивость Va фактора к разрушающему действию APC. Такое состояние называется резистентностью к APC. Главная причина описанной резистентности – Лейденская мутация. При этой мутации в гене V фактора свертывания крови происходит замена в 1691 нуклеотиде гуанина на аденин, что приводит к замещению в белковой молекуле аргинина глутамином в положении 506 (FV, генотип Лейден, 1691 G->A; rs6025). Лейденскую мутацию обнаруживают у 20–40 % больных венозными тромбозами и тромбозами. При ее наличии повышается риск первичных и рецидивирующих венозных тромбозов в 3–6 раз.

Мутация в гене протромбина характеризуется заменой нуклеотида гуанина нуклеотидом аденин в позиции 20210 (FII, 20210 G->A; rs1799963). В результате этого увеличивается экспрессия мутантного гена, и уровень протромбина может быть в полтора-два раза выше, чем в норме. Такое увеличение исследуемого белка способствует развитию сосудистых катастроф.

Таким образом, целью нашей работы явилось исследование фенотипических проявлений гетерозиготного состояния генов V и II факторов свертывания крови.

Материалы и методы

В исследование были включены 406 человек, проживающих в г. Красноярске. Взятие крови производилось натощак из локтевой вены с помощью закрытой вакуумной системы. Для молекулярно-генетического анализа использовался антикоагулянт ЭДТА, для коагулологических тестов – цитрат натрия. Коагулологическое исследование проводилось на автоматическом коагулометре Sysmex CA-560. Определение резистентности фактора Va к действию APC проводили с помощью ReaPrC/FV-теста. Протромбиновое время и протромбиновый индекс определяли хронометрическим методом по Квику с использованием коммерческих реактивов НПО Ренам.

Выделение ДНК из лейкоцитов цельной крови проводили с использованием реагента «ДНК-экспресс-кровь» (НПО Литех). Далее проводили полимеразную цепную реакцию (ПЦР) с электрофоретической детекцией (наборы «SNP-экспресс», НПО Литех). Для подтверждения полученных результатов гетерозиготного состояния исследуемого гена проводили дополнительное тестирование ПЦР с детекцией результата в режиме реального времени (ПЦР-РТ) при помощи «iCycler iQ5» (BioRad) (набор «SNP-экспресс-РВ» НПО Литех).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенной работы из 406 человек, протестированных на наличие мутации в гене фактора Лейдена, было выявлено 25 гетерози-

готных носителей, что составило 6,2 %. Обследование на наличие мутации в гене протромбина выявило 12 гетерозиготных носителей исследуемого гена из 403 человек той же выборки. Таким образом, частота встречаемости данной мутации составила 2,98 %. При этом из всей анализируемой группы нами не было обнаружено ни одного человека с гомозиготной формой мутантного аллеля в исследуемых генах. Затем был проведен сравнительный анализ полученных нами результатов с литературными данными о частоте встречаемости исследуемых полиморфизмов в различных регионах нашей страны и за рубежом (см. *таблица*)

Таблица. Частоты генотипов исследуемых полиморфизмов в сравнении с другими популяциями

Ген, полиморфизм	Генотип	Красноярск	Московский регион, Ленинградская обл.	Европа	Украина
<i>FV, G1691A (FV Leiden)</i>	<i>G/A</i>	6,2 %	2,60 %	4,40 %	3,50 %
	<i>G/G</i>	93,8 %	97,40 %	95,60 %	96,50 %
<i>FII, G20210A</i>	<i>G/A</i>	2,98 %	2,74 %	2,0–3,0 %	3,0 %
	<i>G/G</i>	97,02 %	92,26 %	97,0–98,0 %	97,0 %

Таким образом, по результатам данного этапа работы можно сделать вывод о том, что распространенность носительства мутации в исследуемых генах у людей, проживающих в г. Красноярске в целом статистически не превышает частоту их распространения в других популяциях.

На следующем этапе нашей работы из всей исследуемой выборки (406 человек) была выделена группа риска, которую составили 63 профессиональных спортсмена-разрядника, участвующих в соревнованиях мирового уровня. Наличие исследуемых генетических полиморфизмов у спортсменов могут значительно увеличить предрасположенность к развитию тромбов, поскольку известны данные об увеличении риска тромбообразования при интенсивной физической нагрузке и спортивных травмах. При тестировании проб было выявлено четыре спортсмена с гетерозиготным носительством мутации в гене фактора Лейдена, что составило 6,3 % от всей группы спортсменов. В то же время не было выявлено ни одного человека с носительством мутантного аллеля протромбина.

При исследовании фенотипических проявлений данных полиморфизмов с помощью коагулогических тестов было показано, что фактически у всех носителей Лейденской мутации выявляется снижение резистентности активированного протеина С до значений 0,3–0,8. У лиц без мутации

данный показатель составляет $1,1 \pm 0,3$. Исследование параметра протромбинового времени не выявило каких-либо изменений в работе данного белка у лиц с гетерозиготным состоянием гена протромбина.

В результате проведенной работы были выявлены клинически здоровые носители генов предрасположенности к повышенному тромбообразованию. Фенотипическое исследование коагулологических сдвигов при данных полиморфизмах позволяет говорить о проявлении генетического статуса в случае с мутацией Лейдена в реакции резистентности APC и отсутствии каких-либо выявленных фенотипических проявлений в случае с мутацией в гене протромбина.

УДК 576.524(526)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ АДГЕЗИИ И РОСТА ФУНКЦИОНИРУЮЩИХ КЛЕТОК НА КЛЕТОЧНЫХ МАТРИКСАХ

А.А. Борисов

Научный руководитель Т.Г. Волова

Сибирский федеральный университет

Одной из перспективных областей современной биотехнологии в тканевой инженерии является использование клеточных матриксов из биодegradуемых полимеров для разработки и создания биоискусственных органов.

Вероятность успешного функционирования данных структур напрямую зависит от свойств материала, из которого создаются матриксы. Одними из наиболее часто рассматриваемых материалов являются полигидроксоалканоаты. Причина популярности данной группы полимеров в том, что они отличаются высоким сродством к биологическому материалу и, следовательно, высокой биологической безопасностью, а также достаточно высокой способностью к адгезированию и стимуляции пролиферации клеток. Помимо этого, ПГА способны к изменению формы и структуры без потери перечисленных свойств.

Целью исследований по определению эффективности данных материалов является изучение закономерностей роста клеток на биодegradуемых матриксах, а также закономерностей адгезии (прикрепление к матриксу) в зависимости от структуры, физических и химических свойств матрикса. Подобные исследования широко проводятся как российскими, так и зарубежными научными центрами.

В данной работе рассмотрены закономерности механизма адгезии функционирующих клеток (фибробласты мышцы линии NIH 3T3) на клеточных матриксах, закономерности роста клеток на данных матриксах, физические и химические свойства ПГА. Были сделаны пленки из трех различных по химическому составу полимеров при различном структурном строении (гладкие, пористые и волокнистые). Изучены химические и структурные свойства биополимеров в семи различных конфигурациях. Исследована степень влияния структуры матрикса на адгезию клеток, а также жизнеспособность клеток в зависимости от химического состава полимеров, использованных для создания матрикса. Эксперимент показал, что в зависимости от структуры наибольшая степень адгезии проявляется при использовании волокнистых матриксов; в зависимости от химических свойств наилучший результат показал полимер ПГБВ 27,6 %.

УДК 577.21

БИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА БИОПЛАСТОТАНА КАК МАТРИКСА НА РОСТ КЛЕТОК

Н.В. Копылевич

Научный руководитель Е.И. Шишацкая

Институт биофизики СО РАН, г. Красноярск

Актуальное направление биотехнологии – это клеточная и тканевая инженерия, связанные с разработкой биodeградирующих биополимеров для медицинского применения. Один из перспективных материалов – это полигидроксиалканоаты (ПГА).

Свойства ПГА определяются их строением, прежде всего, они зависят от строения боковых групп в полимерной цепи, а также от расстояния между эфирными связями в молекуле. Установлено, что от химического состава ПГА зависят их физико-химические свойства. На примере нескольких типов ПГА, таких как полигидроксибутират (ПГБ) и полигидроксибутиратвалерат (ПГБВ) 13 % и 27,6 %, показано, что свойства ПГА меняются значительно в зависимости от типа и структуры.

Необходимо выяснить, влияет ли химический состав полимеров на рост клеток. Для решения этой задачи были проведены: культивирование, оценка жизнеспособности и адгезии клеток. Необходимо отметить, что свойства поверхности матриксов из ПГА играют большую роль для пролиферации и прикрепления клеток. В данной работе представлены разные

способы конструирования опорных клеточных матриц из ПГА, изучена их структура, свойства и влияние на рост клеток.

Эксперимент показал, что клетки линии НИН 3Т3 в непосредственном контакте с ПГБ и ПГБВ имеют высокие уровни клеточной адгезии и различную скорость роста клеток в зависимости от типа и структуры матрикса. В результате проведенного исследования высокая скорость роста клеток в зависимости от химических свойств проявляется на матриксе полимера ПГБВ 27,6 %, а наибольшая степень адгезии при использовании волокнистых матриц.

УДК 579.222

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ МАТЕРИАЛОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ – ПОЛИГИДРОКСИАЛКАНОАТОВ (ПГА)

Д.А. Сырвачева

Научный руководитель Т.Г. Волова

Сибирский федеральный университет

Полиэфиры микробного происхождения – полигидроксиалканоаты (ПГА) -вызывают все больший интерес среди микробиологов, биотехнологов и материаловедов в качестве технического аналога не разрушаемых полиолефинов в связи с их свойством деградировать в природной среде без образования токсичных продуктов, а также из-за возрастающих требований к охране окружающей среды.

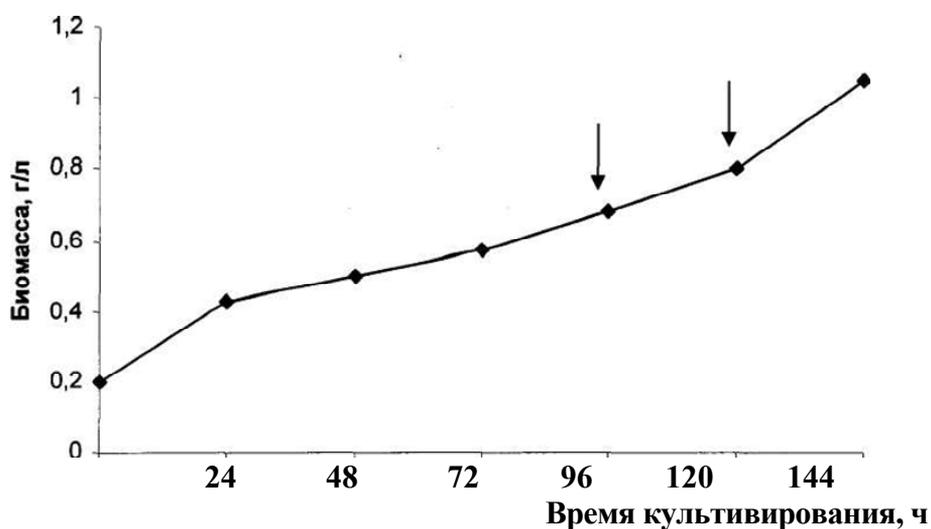
Основными тенденциями в современной индустрии полимеров является создание новых экологически чистых полимерных материалов с широким спектром полезных свойств. Направление поиска в последние годы смещается в сторону производства не аккумулируемых в природной среде материалов, разрушаемых в естественных биологических процессах, то есть вписывающихся в биосферные круговоротные циклы. В этой связи большую актуальность приобрели работы по биополимерам (полимерам биологического происхождения). В ходе разработки эффективных способов синтеза ПГА существенное внимание уделяется бактериям *Ralstonia eutropha* в связи со способностью аккумулировать ПГА с высокими выходами на различных субстратах.

Способность организма синтезировать различные сополимеры вызывает большой интерес в связи с возможностью направленного получения полимеров с заданными свойствами. Сопolíмеры 3-гидроксibuтирата и 3-

гидрогексаноата (поли(3-ГБ-со-3-ГГ)) отличаются физико-химическими свойствами, они менее кристалличны, поэтому позволяют получить более биотехнологичный полимер.

Целью настоящей работы было исследование способности бактерий штамма *R. eutropha* B5786 синтезировать в автотрофных условиях сополимер 3-гидроксibuтират и 3-гидрогексаноата (поли(3-ГБ-со-3-ГГ)) и выявление связи между условиями биосинтеза, структурой и свойствами сополимера для направленного получения образцов заданного состава.

Проведено культивирование бактерий на смешанном углеродном субстрате, содержащем углекислоту и добавки гексановой кислоты. В ходе эксперимента в растущую при дефиците азота автотрофную культуру *R. eutropha* B5786, аккумулирующую полимер, вносили добавки гексановой кислоты на 96 и 120 час культивирования в концентрации 0,5 г/л (см. рисунок).



Динамика накопления биомассы *R. eutropha* B5786.

Стрелками обозначено время добавления гексановой кислоты (0,5 г/л)

Из рисунка видно, что при концентрации гексановой кислоты 0,5 г/л концентрация клеток в культуре к концу культивирования составила 1,05 г/л абсолютно сухого вещества. Следует отметить, что добавление гексаноата в среду не привело к прекращению роста клеток.

Ферментацию продолжали в течение 144 часов. Она сопровождалась накоплением в клетках бактерий полигидроксиалканоатов. В составе ПГА были зафиксированы регулярные включения 3-гидрогексаноата в концентрации 6,01 мол % после первой добавки гексановой кислоты и в концентрации 8,9 мол % — после второй.

Результаты определения концентрации полимера в клетках и его химический состав представлены в таблице.

Таблица. Содержание и состав сополимера синтезированного штаммом *R. eutropha B5786* при дробной подаче гексановой кислоты

Номер пробы	Биомасса, г/л	ПГА, % сухого в-ва	мол, %		
			ЗОНС ₄	ЗОНС ₅	ЗОНС ₆
после первой добавки гексаноата					
1	0,68	41,2	89,3	1,82	6,01
2	0,54	27,8	91,69	1,46	6,85
3	0,8	46,2	91,2	0,38	6,42
после второй добавки гексаноата					
1	1,02	42	89,5	1,8	8,88
2	1,05	45	90,04	1,48	8,48
3	0,9	44,9	90,44	1,35	8,21

Как видно из таблицы, доминирующей фракцией является мономер – 3-гидроксibuтирата, его содержание составило 91,7 мол %, в составе ПГА так же обнаруживаются включения 3-гидроксивалерата. Однако его содержание не превысило 1,82 мол %. Содержание фракции 3-гидроксигексаноата (3-ГТ) в сополимере к концу культивирования было зафиксировано 8,9 мол %. Общий выход полимера составил 46,2 % от веса сухой биомассы (табл.).

Таким образом, показано, что исследуемый штамм способен синтезировать сополимер 3-гидроксibuтират и 3-гидроксигексаноата (поли(3-ГБ-со-3-ГТ)) в автотрофных условиях. Знание закономерностей структурно-функциональной организации внутриклеточного цикла ПГА дает возможности управления этим процессом и основу для синтеза полимеров с новыми свойствами.

УДК 635.13: 632.12

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И ДЕТОКСИКАНТОВ НА МОРКОВЬ В ЮВЕНИЛЬНЫЙ ПЕРИОД

Е.С. Ковель, И.С. Коротченко

Красноярская краевая станция юннатов

Красноярский государственный аграрный университет

В наше время актуально изучение загрязнённости сельскохозяйственных культур, так как 70–80 % общего количества тяжелых ме-

таллов, поступающих в организм человека, содержится в растительной продукции. Наибольший интерес представляет изучение металлов, загрязняющих окружающую среду ввиду значительных объемов их использования в производстве и создающих серьезную опасность с точки зрения их биологической активности и токсических свойств. Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами вызывает тревогу, потому что оно многопланово: снижает продуктивность растений, нарушает естественно сложившиеся фитоценозы, ассимиляционный потенциал фитомассы, при этом ухудшается качество среды обитания человека, включая качество продукции и продуктов питания. В связи с широким распространением в биосфере тяжелых металлов в результате естественных природных процессов и антропогенной деятельности актуален поиск средств, уменьшающих как негативное действие тяжелых металлов на рост культурных растений, так и на накопление в растениеводческой продукции.

Цель работы: оценка действия детоксикантов тяжелых металлов различного происхождения на рост и развитие проростков моркови. Объектом нашего исследования служила морковь (*Daucus carota* L.) сорта Марлинка. Эффективность использования детоксикантов при выращивании моркови оценивали в условиях лабораторно-вегетационного опыта. В почву вносили водорастворимые соли тяжелых металлов: $ZnSO_4$, $CuSO_4$, $(CH_3COO)_2Pb$, $CdSO_4$ – 5ПДК и детоксиканты различного происхождения: органического – гумат натрия, неорганического – суперфосфат, искусственного – катионит.

Изучение влияния детоксикантов тяжелых металлов на всхожесть семян моркови в загрязненной почве показало их различную эффективность. Всхожесть семян в вариантах с гуматом натрия ($P \leq 0,01$) возросла примерно в 2 раза по сравнению с контролем. Эффективность катионита была несколько ниже – всхожесть достоверно ($P \leq 0,01$) увеличилась в 1,5 раза. Всхожесть семян в вариантах с применением суперфосфата осталась на уровне контроля.

В лабораторно-вегетационном опыте отмечено, что тяжелые металлы оказали негативное влияние на биометрические показатели проростков – длину корней и побегов (рис. 1–4). На 30-й день после появления всходов наибольшая достоверная ($P \leq 0,01$) депрессия длины корней и побегов проявлялась в вариантах с кадмием и свинцом, а наименьшая – в вариантах с медью и цинком (рис. 1, 2). На 60-й день после всходов наибольшая достоверная ($P \leq 0,01$) депрессия длины корней отмечена в вариантах с цинком и свинцом, а наименьшая – в вариантах с кадмием и медью. Наибольшая достоверная ($P \leq 0,01$) депрессия длины побегов отмечена в вариантах с медью и свинцом, а наименьшая – в вариантах с кадмием и цинком (рис. 3).

Достоверно ($P \leq 0,01$) отмечено, что наилучшим детоксикантом для изучаемых металлов является гумат натрия. Так, в вариантах с кадмием, медью и цинком он способствовал увеличению длины побега и корня проростка моркови до уровня контроля, а в варианте со свинцом – примерно на 20 % по сравнению с вариантом – свинец без детоксиканта (рис. 1–4).

Однофакторный дисперсионный анализ показал достоверное ($P \leq 0,01$) увеличение биометрических параметров проростков моркови при применении и других изучаемых детоксикантов – это суперфосфат и калионит.

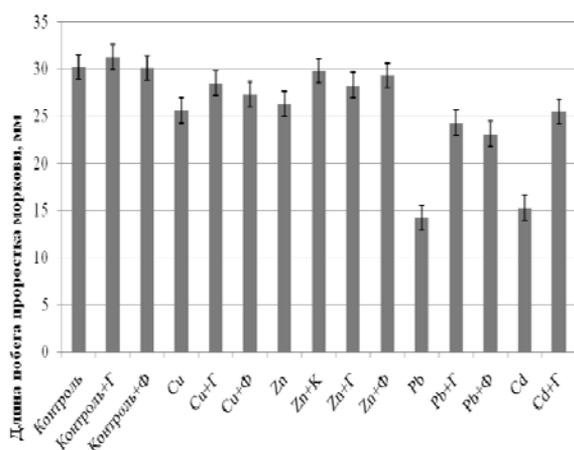


Рис. 1. Влияние тяжелых металлов и детоксикантов на длину побега проростков моркови на 30-й день от появления всходов, мм

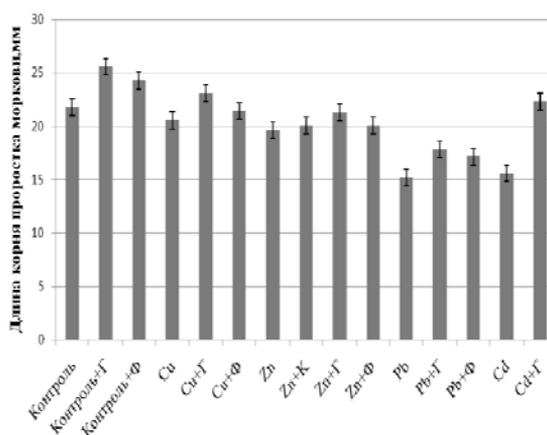


Рис. 2. Влияние тяжелых металлов и детоксикантов на длину корня проростков моркови на 30-й день от появления всходов, мм

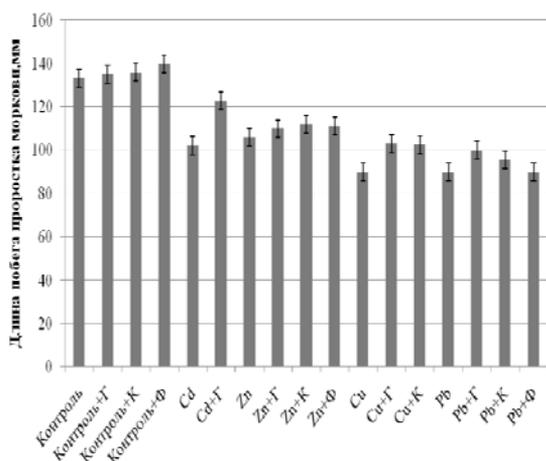


Рис. 3. Влияние тяжелых металлов и детоксикантов на длину побега проростков моркови на 60-й день от появления всходов, мм

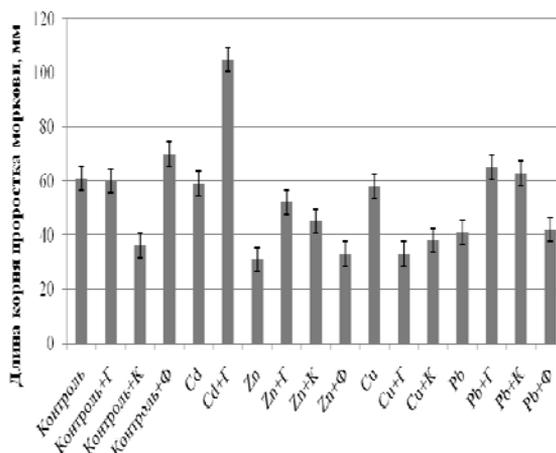


Рис. 4. Влияние тяжелых металлов и детоксикантов на длину корня проростков моркови на 60-й день от появления всходов, мм

Тяжелые металлы влияют на развитие боковых корней, ветвление корней было неустойчиво к действию разнообразных токсикантов (рис. 5). Сильное негативное воздействие оказали свинец, кадмий и цинк. Наиболее эффективными детоксикантами оказались гумат натрия и суперфосфат.

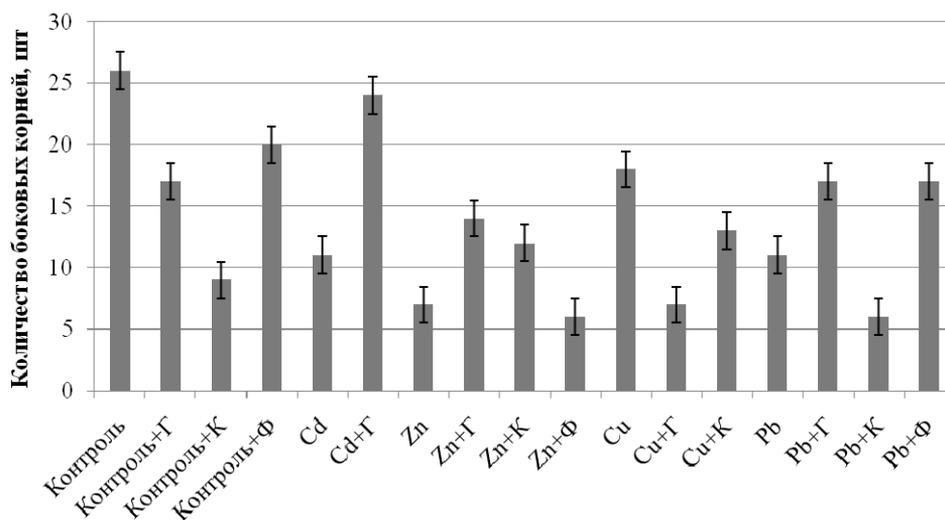


Рис. 5. Влияние тяжелых металлов и детоксикантов на количество боковых корней на 60-й день от появления всходов, шт

Изучение локализации тяжелых металлов при гистохимическом исследовании в разных частях проростков показало, что больше всего металлов находится в корневой системе, так как наиболее интенсивное окрашивание наблюдалось именно в корне. Также было отмечено, что при использовании гумата натрия локализация тяжелых металлов в корнях и побегах значительно сокращается.

Таким образом, результаты гистохимического исследования показали, что проростки моркови относятся к группе исключателей. Это объясняется строением и функциями тканей корня и побега. Фотосинтетический аппарат растений весьма чувствителен к повышенному содержанию тяжелых металлов в окружающей среде, поэтому содержание хлорофилла в растениях может являться показателем загрязнения почвы тяжелыми металлами.

Результаты фотометрического определения хлорофилла в листьях моркови на 30-й день после появления всходов показали, что в вариантах с тяжелыми металлами (без детоксикантов) количество хлорофилла в листьях и побегах значительно уменьшается. Об этом свидетельствует изменение окраски зеленой массы растения (от ярко-зеленого до бледновато-зеленого с желтоватым оттенком). При этом отмечено, что максимальное воздействие на содержание хлорофилла оказывают ионы цинка. Избыток цинка привел к некрозу листьев моркови. Наибольшее количество хлоро-

филла было отмечено в варианте с загрязнением почвы кадмием, что свидетельствует о его наименьшем воздействии на фотосинтетический аппарат растений.

На 60-й день после появления всходов моркови максимальное воздействие на содержание хлорофилла оказали ионы цинка и кадмия, что привело к хлорозу листьев. Минимальное воздействие тяжелых металлов на содержание хлорофилла отмечено в вариантах с ионами свинца и меди.

Детоксиканты по-разному повлияли на содержание хлорофилла в листьях моркови. В вариантах с использованием катионита содержание хлорофилла в листьях было на уровне контроля. В вариантах с гуматом натрия выявлено статистически достоверное увеличение содержания хлорофилла по сравнению с контролем. При этом отмечено, что при загрязнении свинцом гумат натрия способствовал повышению содержания хлорофилла в 2 раза. Суперфосфат как детоксикант проявил себя по-разному. В вариантах с цинком и медью он способствовал уменьшению хлорофилла в листьях, а в варианте со свинцом – его увеличению.

Выводы

1. Тяжелые металлы оказали негативное влияние на всхожесть, энергию прорастания семян и биометрические показатели проростков. При этом наибольшую депрессию развития корней вызывают ионы цинка и свинца, а депрессию побегов – медь и свинец.

2. Внесение гумата натрия и катионита в почву позволяет значительно уменьшить негативное влияние тяжелых металлов на всхожесть, энергию прорастания семян и биометрические показатели проростков моркови.

3. Проростки моркови относятся к группе исключателей – аккумулируют тяжелые металлы главным образом в корневой системе.

4. Использование гумата натрия способствует снижению содержания тяжелых металлов в корнях и проростках моркови.

5. При загрязнении почвы тяжелыми металлами количество хлорофилла в листьях моркови значительно уменьшается.

6. Гумат натрия, катионит способствовали повышению содержания хлорофилла, а суперфосфат проявил себе неоднозначно. В вариантах с цинком и медью он способствовал уменьшению хлорофилла в листьях, а в варианте со свинцом – его увеличению.

Таким образом, наиболее эффективным детоксикантом по отношению к исследуемым ионам тяжелых металлов оказался гумат натрия. Мы рекомендуем использовать гумат натрия в концентрации 150 кг/га на черноземе выщелоченном, загрязненном кадмием, свинцом, медью и цинком.

ЭКОЛОГО-ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БАЗИДИОМИЦЕТОВ о. ТАТЫШЕВ

Д.Е. Александров
Научный руководитель О.Е. Крючкова
Сибирский федеральный университет

Сообщества базидиомицетов островов реки Енисей можно считать практически не изученными. Сведения о грибах этой территории крайне фрагментарны, что делает задачу их изучения весьма актуальной.

Исследование микобиоты островов Енисея, в том числе и о. Татышев, вызывает особый интерес по нескольким причинам. Прежде всего, на островах создаются особые экологические условия вследствие их относительно небольшого размера, особенностей микроклимата, ограниченного набора экотопов и, самое главное, ландшафтной изоляции. Относительная замкнутость островных экосистем создает определенные затруднения при их заселении растениями, животными и грибами. Формирование ценозов базидиомицетов в таких условиях может иметь свои особенности в отличие от прочих территорий.

В исследовании сообществ грибов особую значимость имеет анализ их трофической структуры, так как ее состав косвенно характеризует состояние всего сообщества в целом и, прежде всего, его растительного компонента. Например, большая доля паразитов будет указывать на высокий риск поражения древостоя, особенно ослабленных деревьев, а низкий процент сапротрофов может свидетельствовать о неустойчивости системы, так как процессы биодеструкции в этом случае будут замедлены.

Целью данного исследования являлось изучение видового разнообразия и особенностей экологии макромицетов острова Татышев, прежде всего, их трофической структуры.

Остров Татышев (общая площадь примерно 600 га) расположен в черте города, имеет наносное происхождение и характеризуется песчано-галечным сложением, приподнятостью над меженью реки, вытянутостью в длину, расчленением поверхности продольными лощинами. Отдельные участки берегов заболочены. Почвы аллювиальные и аллювиально-луговые, часто малоразвиты. Во время половодья и паводков пониженная часть поймы затопляется, зимой из-за частично незамерзающей реки обычны туманы.

Данная территория представляет собой пойменно-луговой массив с крупнозлаковыми и остепненными, реже болотистыми лугами. Залесенность и закустаренность острова составляет около 10 % его площади. Господствующи-

щей древесной породой является тополь черный, реже встречается тополь лавролистный и береза. Встречаются немногочисленные в основном искусственного происхождения насаждения сосны обыкновенной. В прибрежной зоне острова произрастают различные виды ив. Кустарниковый ярус представлен шиповником, спиреей и др. Экологический анализ флоры характеризует ее в основном как мезофитную, в меньшей степени мезоксерофитную.

Территория острова испытывает значительную антропогенную нагрузку рекреационного характера.

Исследования проводились поздней весной, летом, и ранней осенью 2009 и 2010 годов маршрутно-рекогносцировочным методом в различных сообществах о. Татышев: в тополевых массивах, посадках сосны, на остепненных территориях и обочинах дорожно-тропиночной сети.

Трофические группы грибов учитывались согласно следующей системе (Коваленко, 1980, с некоторыми изменениями):

I. Сапротрофы (на опаде, подстилке, гумусе, древесине неразрушенной и разрушенной, корнях и погребенной в почве древесине, мхах, экскрементах и на плодовых телах грибов).

II. Симбиотрофы (микоризообразователи).

III. Паразиты (факультативные и облигатные на деревьях и кустарниках).

Обработка собранного материала позволила выявить на территории о. Татышев 32 вида базидиомицетов, относящихся к четырем экологотрофическим группам: симбиотрофам, сапротрофам на подстилке и на древесине (ксилосапротрофы) и факультативным паразитам (ксилопаразиты).

Некоторые виды грибов имеют довольно широкую амплитуду экологических возможностей и встречаются на нескольких субстратах, поэтому при дальнейшем анализе они учитываются одновременно в составе разных трофических групп. Объем и соотношение трофических групп представлены в таблице. Долю участия каждой группы определяли как процентное отношение числа видов данной группы к общему количеству видов, слагающих трофическую структуру. Наибольший процент по числу видов занимают подстилочные сапротрофы (34 %), чуть меньше ксилотрофов и микоризообразователей. Меньше всего видов грибов-паразитов (9 %), однако по количеству собранных образцов они превосходят все прочие категории, что говорит об ослабленности деревьев в системе острова.

Согласно схеме лесорастительного районирования территория города Красноярск входит в Манско-Канский округ горно-таежных и подгольцово-таежных кедровых лесов Восточно-Саянской горной лесорастительной провинции кедровых лесов Алтае-Саянской горной лесорастительной области гор Южной Сибири. Однако растительность островов Енисея в черте города следует считать интразональной, сформированной в особых условиях поймы реки, на песчаных отмелях с илистыми наносами

и часто избыточным увлажнением. Соответственно и биота макромицетов острова, хотя генетически и связана с биотой макромицетов таежной зоны, имеет свои особенности.

Таблица. Соотношение эколого-трофических групп в микобиоте о. Татышев

Эколого-трофические группы	Количество видов	
	Абсолютное	% от общего числа
Симбиотрофы		
Микоризообразователи	9	28
Сапротрофы		
Ксилотрофы	9	28
Подстилочные	11	34
Паразиты		
Паразиты древесных пород	3	9
Итого	32	100

Так, соотношение эколого-трофических групп базидиомицетов показывает равные доли сапротрофов и микоризообразователей, что не характерно для таежных микобиот, в которых, как правило, микоризообразователи преобладают. Это можно объяснить сравнительно бедным ассортиментом древесных пород на островах, которые собственно и составляют симбиотическую ассоциацию «макромицет – дерево». Кроме того, в свиту доминирующей древесной породы острова – тополя, как правило, входит небольшое число видов грибов-микоризообразователей.

Береза и сосна, с которыми ассоциировано гораздо больше макромицетов-микоризообразователей, на острове малочисленны. Малочисленны здесь и макромицеты, традиционно входящие в их свиту, для березы выявлен 1 вид, для сосны – 4 вида. Вероятно, эти виды грибов можно считать наиболее экологически пластичными микоризообразователями, способными образовывать симбиоз с деревьями в условиях островных экосистем, характеризующихся особыми климатическими условиями, относительно маломощными почвами и обедненной флорой по сравнению с территориями вне островов.

Стоит отметить, что для острова характерна высокая доля подстилочных сапротрофов. Эти грибы, как правило, малоспециализированы в трофическом отношении и способны поселяться на субстрате различного происхождения, т. е. на опаде (травяном, веточном, листовом) вне зависимости от систематической принадлежности растений.

В то же время высокая доля сапротрофов является признаком биоценозов, испытывающих сильное антропогенное воздействие. Всего на о. Та-

тышев выявлено 6 видов синантропных грибов, или около пятой части от всех обнаруженных базидиомицетов. Особенно примечательно наличие несколько видов семейства *Coprinaceae* (навозниковые), которые традиционно считаются индикаторами интенсивной антропогенной нагрузки. Дальнейшее изучение микобиоты острова позволит уточнить степень синантропизации других видов грибов.

Некоторые группы сапротрофов, например обитающие на мхах, на острове не представлены вовсе в силу слабого развития мохово-лишайникового яруса.

Несмотря на относительно невысокую долю макромицетов, паразитирующих на деревьях (9%), пораженные ими деревья встречаются довольно часто, что может свидетельствовать о неблагоприятном состоянии древостоев острова. Чаще всего отмечается *Fomes fomentarius* на тополе черном и лавролистом.

Таким образом, в эколого-трофической структуре биоты макромицетов острова Татышев выявляются некоторые специфические черты, отличающие ее от биоты прибрежной зоны. Наблюдается превышение доли сапротрофов над микоризообразователями; среди сапротрофов преобладают широкоспециализированные подстилочные, а также синантропные виды, что указывает на интенсивную антропогенную нагрузку на территорию острова.

Данная работа позволяет расширить знания об экологии отдельных видов макромицетов, выявить виды-синантропы и виды-микоризообразователи, способные образовывать симбиоз с деревьями в условиях островных экосистем и пойменных насаждений.

УДК: 616.34: 616.37.007.

ИНФЕКЦИИ КОЖИ И МЯГКИХ ТКАНЕЙ – МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

**Н.С. Коростелева, А.Б. Аверьянов, Т.В. Новикова,
Д.Н. Пашкова**

**Научный руководитель О.Е. Хохлова, О.В. Теплякова,
А.И. Дробушевская**

*Красноярский государственный медицинский университет
им. проф. В.Ф. Войно–Ясенецкого*

Актуальность темы. Инфекционные заболевания кожи и мягких тканей (ИКМТ) являются одной из актуальных проблем современной ме-

дицины. Значимость данной проблемы обуславливается тем фактом, что доля заболеваний, связанных с хирургической инфекцией кожи и мягких тканей, в структуре первичной обращаемости к общему хирургу достигает 70 %. О важности этой патологии свидетельствует и тот факт, что летальность при таких заболеваниях, как некротический целлюлит и фасциит, может достигать 50 и более процентов. По оценкам экспертов, ежегодно в РФ данная патология встречается у 700 тыс. пациентов.

С этиологической точки зрения ИКМТ являются обычно бактериальными и во многих случаях полимикробными. Бактерии, которые чаще всего участвуют в процессе, – это *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.*, энтеробактерии и анаэробные микроорганизмы (*Bacteroides* группы *fragilis* и *Clostridium spp.*). *S. aureus* является наиболее актуальным в большинстве случаев инфекций кожи и мягких тканей. Эффективность лечения стафилококковых инфекций снижается вследствие широкого распространения в стационарах штаммов, устойчивых к оксациллину/метициллину (MRSA), которые, помимо закономерной устойчивости к бета-лактамам антибиотикам, часто характеризуются устойчивостью к другим классам антибактериальных препаратов, в частности к аминогликозидам, макролидам, линкозамидам, фторхинолонам. Инфекции, вызванные MRSA, имеют большое медицинское и социальное значение, так как сопровождаются более высокой летальностью и требуют больших материальных затрат на лечение. В стационарах РФ частота MRSA в последние годы постоянно увеличивается и в среднем составляет 65 %, хотя отмечаются существенные различия в величине этого показателя между отдельными учреждениями (от 5 до 90 %).

Совершенно очевидно, что учащение и увеличение тяжести течения воспалительных заболеваний привели к значительному росту временной нетрудоспособности. Таким образом, рассматриваемая проблема имеет не только медицинское, но и важное социальное значение.

Целью настоящего исследования является изучение микрофлоры гнойных ран больных с инфекциями кожи и мягких тканей и её антибиотикорезистентности.

Задачи исследований

1. Изучение количественного и качественного состава микрофлоры гнойных ран больных с инфекциями кожи и мягких тканей в динамике имеющегося заболевания.

2. Изучение антибиотикорезистентности основных возбудителей, выделенных от обследуемых с инфекциями кожи и мягких тканей.

Методы исследования. Обследованы девять больных, оперированных по поводу ИКМТ на базе ГКБ №7 г. Красноярск. Забор материала для бактериологического исследования осуществлял врач при соблюдении правил асептики. Выполнялся забор материала интраоперационно или в

первые сутки до назначения антибактериальной терапии, на 5–7 сутки, 10–14. Кожу вокруг раны обрабатывали антисептиком, удаляли с помощью стерильной салфетки некротические массы, детрит, гной. Проводилось иссечение участка гнойной раны на всю ее глубину. В качестве исследуемых материалов использовали биоптат, который в стерильных условиях взвешивали, растирали в ступке с физиологическим раствором из расчета 1: 10. Для определения качественного и количественного состава бактерий в биоптате посев производился методом Gould на кровяной агар, желточно-солевой агар, среду Эндо.

Идентификацию исследуемых культур проводили на основании морфо-тинкториальных, культуральных и биохимических свойств. Чувствительность микроорганизмов к антибиотикам определяли диско-диффузионным методом и методом скрининга для культуры стафилококка на агаре Мюллера–Хинтона в соответствии с международными рекомендациями CLSI.

Результаты исследования. В первые сутки обследования микрофлора у 40 больных с диагнозами: абсцессы, флегмонозные и рожистые воспаления была представлена преимущественно Грам-положительными микроорганизмами, на долю которых приходилось 87,5 %. Наиболее часто встречался *Staphylococcus aureus* (34,8 %). Остальной спектр микроорганизмов был представлен *Staphylococcus spp.*, *Acinetobacter baumannii*, *Corynebacterium spp.*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Eischerichia coli*. В 50 % случаев выделенные микроорганизмы были представлены ассоциациями (*Staphylococcus spp.*, *A. baumannii*, *Ps.aeruginosa* и др.). Микроорганизмы высевались в этиологически значимом количестве $5,2 \times 10^6$ КОЕ/мл.

На 5–7 сутки госпитализации было обследовано шесть больных. Отмечалось присоединение *Corynebacterium xerosis* (42,9 %), что могло свидетельствовать о снижении иммунитета и развитии воспалительного процесса. *S. aureus* был выявлен в 33,3 % случаев. Ассоциации микроорганизмов, выделявшиеся у большинства больных, встречались в 50 % случаев. Микроорганизмы высевались в этиологически значимом количестве $4,9 \times 10^6$ КОЕ/мл.

На 10–14 сутки госпитализации было обследовано трое больных. Спектр микроорганизмов был представлен *Corynebacterium xerosis* (50 %), *S. aureus*. (25 %), *S. saccharolyticus* (25 %).

У основных возбудителей ИКМТ исследована чувствительность к антимикробным препаратам.

У всех выделенных штаммов *S. aureus* было проведено определение чувствительности к метициллину методом скрининга. 11,7 % штаммов оказались метициллинрезистентными (MRSA).

Штаммы *Corynebacterium xerosis* в 100 % случаев оказались устойчивы к эритромицину, гентамицину, амикацину и офлоксацину. Антибио-

тикограммы, проведенные со штаммами *Ps. Aeruginosa*, показали чувствительность микроорганизма к амикацину в 85,7 % случаев, чувствительность к гентамицину обнаружена у 83,3 % штаммов, у 71,4 % – к ципрофлоксацину, в 50 % случаев штаммы *Ps. aeruginosa* оказались устойчивы к цефепиму, в 71,4 % к меропенему. У *E. coli* обнаружена чувствительность к меропенему в 50 % случаев, в 66,7 % устойчивость к гентамицину и цефоперазону, у 75 % штаммов устойчивость к ципрофлоксацину и амикацину.

Выводы

1. Микрофлора гнойных ран преимущественно представлена стафилококками (58,8 %) выделяющимися в количестве, превышающем этиологически значимый порог 10^5 КОЕ/мл.

2. При исследовании заболевания в динамике выявили присоединение полирезистентных штаммов *Corynebacterium xerosis*, что могло свидетельствовать о снижении иммунитета и развитии воспалительного процесса.

УДК 615.276

СОЗДАНИЕ ДОЛГОСРОЧНЫХ ФОРМ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИГИДРОКСИБУТИРАТА

М.А. Шендрик

Научный руководитель Т.Г. Волова

Сибирский федеральный университет

Создание систем контролируемой доставки лекарств – важнейшее направление современной биотехнологии и фармакологии. Такие системы используются при лечении длительно текущих и системных заболеваний. Использование новых форм лекарственных препаратов на основе резорбируемых полимерных матриксов делает возможным долговременную и целенаправленную доставку в организм определенной дозы лекарства и его контролируемое высвобождение с течением времени, что увеличивает эффективность действия препарата. Полигидроксиалканоаты (ПГА), в частности полигидроксибутират (ПГБ), являются перспективным материалом для создания таких форм лекарственных препаратов. ПГА обладают необходимым спектром физико-механических и медико-биологических свойств, включая биосовместимость и способность к биодеградации в организме с образованием нетоксичных конечных продуктов.

Цель работы – получение новых лекарственных форм противовоспалительного препарата (диклофенак) в виде полимерных пленок с использованием полигидроксипропаноата и исследование кинетики выхода препарата *in vitro*.

С использованием метода полива из раствора ПГБ получали матрицы для депонирования лекарственного препарата в виде пленок. Для модификации поверхности и повышения гидрофильности пленочных матриц в раствор полимера добавляли полиэтиленгликоль (ПЭГ) из расчета 20 % от массы полимерного матрикса. Для изучения динамики выхода препарата была получена серия полимерных пленок из ПГБ/ПЭГ (молекулярная масса ПЭГ Мв 40 кДа, Мв 4000 Да, Мв 2000Да). Скорость выхода препарата из полимерных пленок зависела от молекулярной массы ПЭГа. В качестве лекарства для депонирования использовали водный раствор диклофенака. Для получения депонированной формы диклофенака формировали водно-масляную эмульсию с помощью ультразвука. Содержание препарата в матриксе составило 1,25 % от массы полимерного матрикса. Добавление ПЭГ во всех случаях привело к снижению контактного краевого угла смачивания водой поверхности пленок, то есть увеличило гидрофильность матрикса. Отсутствие резких выбросов в начальный период наблюдения и низкие скорости выхода препарата в среду свидетельствуют о перспективе использования полимерных пленок из ПГБ в качестве пролонгированной лекарственной формы противовоспалительного нестероидного диклофенака.

УДК 577

СОЗДАНИЕ ЭКСПРЕССИОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО БИОТИНИЛИРОВАНИЯ БЕЛКОВ *IN VIVO* ПРИ ЭКСПРЕССИИ В *E. coli*.

М.Д. Ларионова
Научный руководитель С.В. Маркова
Сибирский федеральный университет

Биотин-авидиновая система, основанная на чрезвычайно высоком сродстве биотина к белку авидину, широко применяется в биологии и медицине для проведения иммуноанализов, иммобилизации и высокочувствительной детекции различных белковых молекул, а также очистки белков. Для получения биотинилированных белков используется химическое биотинилирование, которое часто приводит к инактивации белка при модифи-

кации, кроме того, продукт реакции является гетерогенной фракцией. Однако возможен принципиально другой метод биотинилирования белков с использованием методов генной инженерии.

Цель работы – создание экспрессионной конструкции для биотинилирования белков *in vivo* при экспрессии в *E. coli*. В *E. coli* имеется белок биотин-лигаза, биотинилирующий по специфическому сайту одну из субъединиц КоэнзимаА. При определении субстратной специфичности биотин-лигазы из *E. coli* методами фагового дисплея был получен ряд искусственных пептидов, эффективно биотинилируемых *in vivo*. Ранее в лаборатории фотобиологии ИБФ СО РАН две из полученных последовательностей были проверены при создании экспрессионной конструкции для биотинилирования обелина *in vivo* при экспрессии в *E. coli*. К сожалению, только 10–15 % рекомбинантного обелина оказывалось биотинилированным. По-видимому это связано с малым количеством молекул биотин-лигазы в *E. coli*. Предполагается, что включение гена биотин-лигазы в разрабатываемую экспрессионную конструкцию позволит более эффективно биотинилировать *in vivo* рекомбинантные белки.

Ген биотин-лигазы *birA* был амплифицирован специфическими праймерами при использовании в качестве матрицы геномной ДНК из *E. coli*. Далее фрагмент *birA* был очищен гель-электрофорезом и клонирован в экспрессионный вектор рЕТ19-Bio91OL сразу за геном обелина, содержащего фрагмент, кодирующий биотинилируемый пептид Bio91. Для одновременной экспрессии обоих белков с одного промотора был выбран вариант одновременной трансляции через стоп-старт перекрывание ATGA. Этот вариант реализован в геноме *E. coli* для трансляции *birA*. По данным литературы, стоп-старт перекрывание ATGA двух генов позволяет при очень эффективной трансляции первого белка получать второй белок в небольших количествах, что и требуется в данном случае. Стоп-старт перекрывание ATGA между обелином и *birA* было введено методом олигонуклеотид-направленного мутагенеза. Все полученные генетические структуры подтверждены секвенированием.

ГЕОЛОГИЯ И ГОРНОЕ ДЕЛО

УДК 531.622.002.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ КУСКА ПОРОДЫ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ РОТОРНЫМ ЭКСКАВАТОРОМ

В.В. Зубенко

Научный руководитель С.А. Косолапова

Сибирский федеральный университет

Роторный экскаватор – самоходная выемочно-погрузочная машина непрерывного действия на гусеничном или шагающе-рельсовом ходовом оборудовании с выдвигной или невыдвигной стрелой, предназначенная для ведения вскрышных или добычных работ верхним (преимущественно) и нижним черпанием, разработки выемок (каналов), удаления породы в отвал или погрузки горной массы в транспортное средство (рис.1). Применяется роторный экскаватор преимущественно на породах и углях малой и средней крепости (до IV категории включительно без предварительного рыхления взрывом, а более крепких – после рыхления).



Рис.1. Роторный экскаватор

Погрузка горной массы может осуществляться непосредственно в транспорт автомобильный или железнодорожный или перемещаться по конвейеру.

Кусок породы, принимаемый за материальную точку, после вылета из ковша экскаватора совершает свободное падение под действием силы тяжести с начальной скоростью, которую можно считать известной (для известной скорости подвигания экскаватора) как по модулю, так и по направлению.

Чтобы падающий на ленту кусок породы не проскальзывал по ленте конвейера при падении на нее, необходимо равенство скорости ленты и скорости куска при движении по ленте (рис. 2)

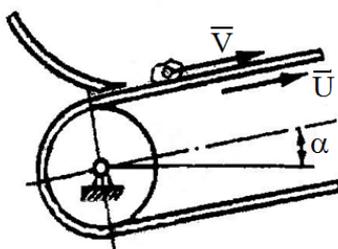


Рис.2. Движение куска породы по ленте конвейера

На самом деле кусок поступает на ленту конвейера со скоростью меньшей, чем скорость ленты, поэтому лента в течение некоторого времени (время скольжения куска) обгоняет кусок, причем его относительная скорость (скорость скольжения куска) направлена противоположно направлению движения рабочей ветви ленты.

Рассмотрим схему движения куска (рис.3).

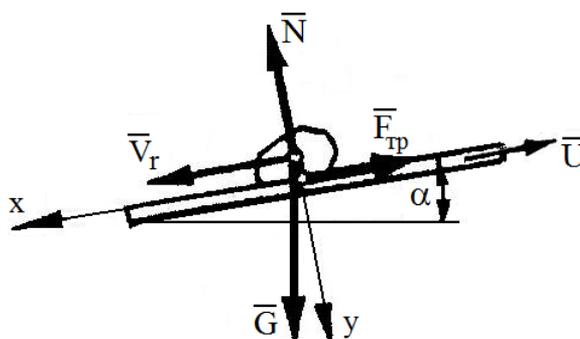


Рис.3. Схема скольжения куска породы по ленте

На кусок породы во время его скольжения по ленте действуют сила тяжести, нормальная к поверхности ленты реакция связи и сила трения.

Составив уравнение движения куска породы относительно ленты, можно получить дифференциальные уравнения движения, позволяющие определить ускорение относительного движения куска породы

$$m\ddot{x} = mg \sin\alpha - F_{\text{тр}};$$

$$m\ddot{y} = mg \cos\alpha - N.$$

Анализ этих уравнений позволяет сделать вывод о том, что ускорение относительного движения постоянная величина.

$$\dot{x} = a_r = g (\sin\alpha - f \cos\alpha) = \text{const.}$$

Для нормальной работы конвейера величина силы трения должна быть больше, чем величина проекция силы тяжести на направление ленты, иначе порода будет скатываться с ленты конвейера, т.е. должно выполняться неравенство

$$f \cos\alpha > \sin\alpha.$$

Следовательно, $a_r < 0$.

Пользуясь известным законом равнопеременного движения точки, можно определить скорость скольжения куска по ленте

$$v_r = v_{r0} - a_r t = u - v - g (\sin\alpha - f \cos\alpha) t.$$

При условии, что скорость скольжения будет равна нулю, можно определить время скольжения:

$$t_{\text{ск}} = (u - v) / g (\sin\alpha - f \cos\alpha).$$

Для уменьшения времени скольжения куска по ленте конвейера можно увеличить угол наклона конвейера к линии горизонта.

УДК 622.831
Ч81

ВЫБОР И РАСЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ ПОДДЕРЖАНИЯ ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ШТРЕКОВ ПРИ ОТРАБОТКЕ ПОЛОГИХ ПЛАСТОВ ТОНКИХ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ

Д.А. Даниленко
Научный руководитель А.И. Голованов
Сибирский федеральный университет

В настоящее время на ОАО СУЭК шахте Хакасская ведутся горные работы по очистной выемке запасов уклонного поля пласта “Великан II”. Проводятся проектные работы по обоснованию схем вскрытия, подготовки и отработки нижерасположенных запасов. При этом планируется одновременно вскрыть пласты “Мощный” и “Безымянный II”. По данным геологической разведки пласты сложного строения. Пласт “Безымянный II” представлен

двумя, одной, тремя, четырьмя и даже пятью пачками угля. Общая мощность пласта колеблется от 0,40 до 2,00 м. Непосредственная кровля пласта чаще всего представлена аргиллитами и алевролитами, реже аргиллитами углистыми. Почва – аргиллитами углистыми и аргиллитами, реже алевролитами. Пласт “Мощный” от пласта “Безымянного II” отделяется междупластием мощностью от 0,50 до 3,40 м. Пласт представлен редко одной, чаще двумя, тремя, четырьмя и даже шестью угольными пачками. Общая мощность пласта колеблется от 0,25 до 6,05 м. В кровле пласта чаще всего залегают темно-серые аргиллиты, углистые и слабо углистые аргиллиты, редко песчаники. В почве – алевролиты, реже аргиллиты, углистые аргиллиты, песчаники. Углы падения обоих пластов меняются от 5 до 7 град.

При разработке пологих угольных пластов тонких и средней мощности возникает необходимость обоснования рационального способа поддержания подготовительных выработок.

На шахте повсеместно применяется столбовая система разработки. Основным способом подготовки является панельный. В пределах Западной прирезки принят погоризонтный способ подготовки. При проведении исследований принята хорошо себя зарекомендовавшая на шахте и в целом по России столбовая система разработки, так как в настоящее время она наиболее рациональна и более прогрессивная по отношению к сплошной.

Основным способом поддержания подготовительных выработок при столбовых системах разработки остается поддержание их целиками угля, которые, в свою очередь, остаются в виде потерь полезного ископаемого. С увеличением глубины разработки ширина целиков возрастает (рис. 1), они являются концентраторами напряжений, что будет осложнять отработку нижерасположенных запасов. На шахтах, где угли склонны к самовозгоранию, оставление целиков может явиться причиной возникновения эндогенных пожаров. Кроме этого с возрастанием глубины ведения горных работ увеличивается метановыделение, в том числе и из оставленных целиков.

Кроме применения целиков для охраны подготовительных выработок известны также следующие способы поддержания подготовительных выработок: угольным массивом, угольными массивами и целиками, угольным массивом и бутовой полосой, бутовыми полосами и целиком, угольным массивом и искусственным ограждением, бутовыми полосами, угольным массивом и выработанным пространством, искусственными ограждениями, в том числе ЖБТ и полосами из быстротвердеющих материалов, в частности на основе фосфогипсового вяжущего.

В качестве конкурирующего варианта поддержания выработок можно предложить возводить бутовые полосы, но этот способ целесообразно применять при мощности пластов до 1,5 м, при большей мощности пластов выкладка бутовых полос трудоемка и зачастую экономически нецелесообразна даже при частичной механизации. В отдельных случаях возве-

дение бутовых полос может быть оправдано тогда, когда проведение выработок происходит с подрывкой вмещающих пород (кровли, почвы или одновременно и кровли и почвы). При этом положительный эффект достигается за счет снижения затрат на транспортирование, подъем, складирование в отвалах пустой породы и их последующую рекультивацию.



Рис. 1. Зависимость ширины целика от глубины разработки

Технико-экономическое сравнение конкурирующих вариантов было произведено для следующих горно-геологических условий: глубина разработки $H = 200$ м и мощность пласта 1,4 м для легкообрушаемой кровли. Были проведены расчеты размеров целиков в зависимости от глубины разработки и величины смещения пород по методике, предложенной ВНИМИ, для расчета угольных целиков, результаты которых приведены на графике (рис. 1).

Установлено, что для принятых условий ширина целика должна составлять 20 м при использовании металлической арочной крепи. Вместе с тем рекомендуемые размеры целиков, приводимые в тех же «Указаниях...» ВНИМИ, наиболее полно отражают фактические их параметры, применяемые на шахте-аналоге, и составляют 8–10 м.

Ширина бутовой полосы будет напрямую зависеть от мощности пласта и должна составлять не менее 6–8 кратной величины мощности пласта, отсюда следует, что ширина бутовой полосы должна составлять 10 м.

Окончательно в качестве критерия экономической оценки эффективности различных способов поддержания подготовительных выработок была принята прибыль, получаемая с 1 т погашаемых запасов угля, которая показала, что при применении в качестве охраны выработок возведение бутовых полос прибыль уменьшается на 3 руб/т.

Для снижения затрат на возведения бутовых полос и применения их на более мощных пластах рекомендуется возводить бутовую полосу в сочетании с пневмобалонами (патент E21D19/00), что позволит осуществлять плавное опускание пород кровли в выработанном пространстве и снизить нагрузки на призабойное пространство очистного забоя.

На основании вышеизложенного было разработаны следующие рекомендации по поддержанию выработок:

- при мощности пласта до 1,5 м – использование бутовых полос, в том числе и в сочетании с костровой крепью или с пневмобалонами;
- при мощности пласта более 1,5 м – использование искусственных полос из быстротвердеющих материалов с костровой крепью или с пневмобалонами.

УДК 622.012:658.2.016

РАСКОНСЕРВАЦИЯ И ВОЗОБНОВЛЕНИЕ СТРОИТЕЛЬСТВА ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ ПРИАРГУНСКОГО ПГХО

Л.В. Фромиллер

Научный руководитель В.Л. Ермолаев

Сибирский федеральный университет

В 1984 г. было принято решение о промышленном освоении месторождений Аргунское, Жерловое и Пятилетнее путем строительства на их основе рудника №6. В одновременной проходке находились практически все предполагаемые стволы рудника 19 РЭШ, 13К, 13В и 20В.

В 1990 г. горные работы по строительству рудника №6 были приостановлены в связи с тяжелым экономическим положением в стране. Все объекты строительства были законсервированы. До начала консервации горных выработок были выполнены следующие объемы по проходке стволов и горных выработок:

- ствол 19 РЭШ диаметром 6 м в свету пройден глубиной 930 м до горизонта XVI, произведено переоснащение проходческого комплекса на выполнение работ по армировке ствола, установлены ярусы на первых 80 м ствола;
- ствол 13К диаметром в свету 7 м, пройден глубиной 680 м до XII горизонта;
- ствол 13В диаметром в свету 6 м, пройден глубиной 425,2 м на 30 м ниже VII горизонта;
- ствол 20В диаметром в свету 8 м, пройден глубиной 149,5 м;
- из ствола 13К на VIII горизонте пройдено 160 м горизонтальных горных выработок;
- из ствола 19 РЭШ на XII горизонте выполнены горные работы по проходке околоствольного двора, ЦПП, насосной, водосборников,

квершлагов 19 РЭШ-1200, 13К-1200, осуществлена сбойка стволов 19 РЭШ, 13К общим объемом – 1140 п.м.

На площадках стволов 19 РЭШ и 13К смонтированное проходческое оборудование частично демонтировано. На площадке стволов 13В и 20В все проходческое оборудование полностью демонтировано, анкерные болты крепления проходческих лебедок на фундаменте частично срезаны. Инженерные сети и коммуникации, обеспечивающие проходческие комплексы стволов электроэнергией, теплом, водоснабжением и водоотведением, в настоящее время отсутствуют: частично демонтированы или пришли в полную негодность.

В настоящее время в связи с востребованностью продукции ППГХО возникла необходимость расширения рудной базы производства объединения. В связи с этим встал вопрос о расконсервации строительства рудника №6. Все доступные объекты были обследованы и после этого разработаны проекты на расконсервацию и возобновление строительства.

В частности, для обеспечения возобновления строительства ствола 13К предусматривается комплекс работ на поверхности:

- строительство временных автодорог и площадок по отсыпанному уплотненному щебню;
- проектирование и прокладка временной водопроводной сети тупикового начертания; прокладка трубопроводов – надземная, совместно с теплосетями по скользящим опорам;
- проектирование теплоснабжения временных зданий и сооружений от внеплощадочной теплосети; прокладка теплосети – надземная на низких опорах и частично подземная – в сборном железобетонном канале;
- на копре должен быть произведен демонтаж старой подшивной площадки и смонтирована новая;
- монтаж разгрузочного устройства бадей;
- установка подъемной машины и проходческих лебедок.
- сооружается временное ограждение вокруг ствола.

При расконсервации разбирается полностью бетон толщиной 0,5 м над нулевым перекрытием ствола и частично над проемами под лестницу и отверстиями для тампонажных труб в бетонно-растворном узле (БРУ).

Существующее нулевое перекрытие заменяется новым, в котором все свободные проемы перекрываются настилом из рифленой стали. Проемы для прохода бадей – лядами, которые открываются лебедками, установленными на площадке разгрузочного устройства. Конструкция нулевого перекрытия исключает возможность падения предметов, кусков породы при разгрузке бадей. Ляды подняты на рамах над уровнем нулевого перекрытия на 200 мм и имеют сплошную отбортовку над проемами.

Для откачки воды до XII горизонта применяется насос ЦНС 105/490, который устанавливается на нижнем этаже полка и на нем монтируется только один раструб для прохода бадьи. Полок в этот период также служит для монтажа ставов труб вентиляции Ø900 мм, водоотлива Ø159 мм, сжатого воздуха Ø159 мм, 2 бетоноводов Ø168 мм, става подачи воды при бурении шпуров Ø60мм.

Для бурения шпуров при проходке ствола принята бурильная установка комплексного бурения шпуров БУКС-1мц, которая предназначена как для бурения шпуров, так и цементационных скважин на глубину до 50 м.. Количество одновременно буримых шпуров – 4, диаметр бурения 52 мм, расход сжатого воздуха установкой 50–60 м³/мин. Бурильная установка БУКС-1м применяется как навесное оборудование к машине КС-2У/40. Вес установки 10,2 т.

Проходка ствола осуществляется по совмещенной схеме, которая предусматривает выполнение операций по выемке породы и возведению постоянной крепи последовательно в призабойной части ствола на высоте одной заходки – 4 м.

Для возведения бетонной крепи принята конструкция передвижной призабойной опалубки секционного типа с механическим отрывом от крепи (самоотрывающаяся).

Опалубка подвешивается на четырех канатах, которые являются направляющими для бадьевого подъема и через шкивы, установленные на подвесном полке, канаты направляются к местам зацепки на опалубке.

Опалубка ОСД с жестким отрывом: отрывается под действием собственного веса при помощи роликов, жестко закрепленных на каркасе опалубки. Опалубка дополнительно снабжена резервными средствами отрыва – форкопфными стяжками.

УДК 622.274.4

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШПУРОВОЙ ОТБОЙКИ
В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «СКАЛИСТЫЙ»
ЗФ ОАО ГМК «НОРНИКЕЛЬ»**

М.С. Загороднев
Научный руководитель Е.Г. Малиновский
Сибирский федеральный университет

Рудник “Скалистый” строится на базе запасов сульфидных медно-никелевых руд Талнахского месторождения, располагается в 25 км к севе-

ру от г. Норильска и связан с ним железнодорожной и автомобильной дорогами. Месторождение находится на территории Таймырского автономного округа Красноярского края. Рудник "Скалистый" ведет отработку северных залежей С-1 и С-2.

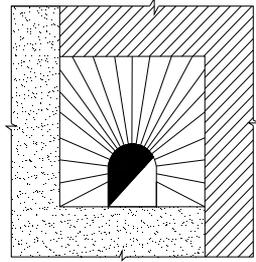
Первая Северная залежь (С-1) протягивается с юга на север в соответствии с погружением Северо-восточной интрузивной ветви на расстояние около 1400 м при ширине до 600 м. Площадь ее составляет 0,61 км². Она имеет среднюю мощность около 9,9 м. Вторая Северная залежь (С-2) имеет длину до 2 км, среднюю ширину около 400 м. Абсолютные отметки залегания почвы залежи от –800 м в южной части до –1100 м в северной. Средняя мощность ее равняется 10,9 м.

Доля буровзрывной отбойки в себестоимости составляет до 60 %, поэтому повышение эффективности буровзрывных работ является актуальной задачей. При отбойке решаются следующие вопросы: обеспечение качества дробления, минимальное сейсмическое воздействие на массив, соответствие проекту контуру отработки при оптимальных экономических показателях. Для приближения отбиваемого контура к проектным границам необходимо использовать элементы контурного взрывания. На руднике «Скалистый» объем шпуровой отбойки значительно превышает объем скважинной.

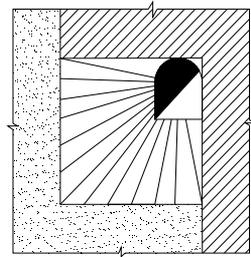
На добычных работах преобладает слоевая система разработки с комбинированным порядком выемки слоев (слоевая система разработки с нисходящим порядком выемки слоев – 12 %, слоевая система разработки с комбинированным порядком выемки слоев – 74,4 %, слоевая система разработки (один слой) – 13,6 %). Сущность комбинированного порядка выемки слоев заключается в том, что верхний (защитный) слой отрабатывают с опережением, а основную часть рудного тела в защищенной зоне отрабатывают слоями снизу вверх сплошным фронтом. Сооружение защитного слоя заключается в проходке по кровле рудного тела заходок шириной до 4-6 м и высотой до 4,5 м и их последующей армировке и закладке. Отработка нижнего слоя в пределах ленты шириной 8 м в направлении снизу вверх включает проходку разрезного штрека и его расширение до 8 м. Основные слои отрабатываются потолкоуступным забоем с недозакладкой.

Основные схемы отработки слоев представлены следующими вариантами:

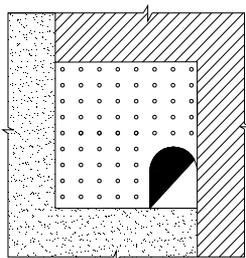
1. Восходящие веера шпуров. При этой схеме обуривания длина шпуров увеличивается, дробление руды – неравномерное, проработка и оконтуривание блока хуже, чем при параллельном расположении шпуров. При веерном расположении шпуров увеличивается объем буровых работ. Достоинствами данной схемы будет высокая производительность, минимальное количество горных выработок, схема обеспечивает широкий фронт работ.



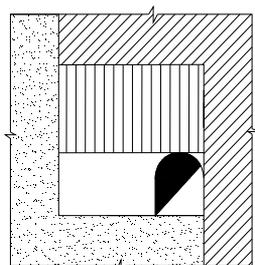
2. Нисходящие веера шпуров. При такой схеме, помимо вышеперечисленных недостатков веерного расположения шпуров, будет низкая скорость бурения, возникают трудности при забурировании и удалении шлама из забоя шпура. Также при таком расположении буровой выработки возникают сложности при уборке отбитой горной массы, для чего необходимо обустройство заездов. Схема применима только для системы разработки с закладкой нисходящими слоями.



3. Параллельные горизонтальные шпуры. Такая схема обеспечивает хорошую проработку и оконтуривание блока, лучшее, по сравнению с веерной схемой, дробление руды. Недостатком такой схемы будет низкая скорость работ, необходимость формирования вруба, малый фронт работ.



4. Параллельные восходящие шпуры. Такая схема отбойки является наиболее эффективной, она обеспечивает широкий фронт работ, повышает качество дробления руды, снижается выход негабаритов. Недостатком же такой схемы будет необходимость в формировании пространства вдоль выработки для возможности обурирования забоя и машинной доставки рудной массы.



Таким образом, в результате сравнения вышеприведенных схем отработки по критериям: производительности, экономичности, потерь и разубоживания, формирование проектного контура, делаем вывод о дальнейшем рассмотрении и сравнении схем 1 и 4. Техничко-экономическое сравнение предложенных вариантов показало более высокую эффективность 4-го варианта.

УДК 622.273.2

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ШПУРОВОЙ ОТБОЙКИ В УСЛОВИЯХ РУДНИКА «ТАЙМЫРСКИЙ»

А.Е. Карелин

Научный руководитель Б.А. Ахпашев

Сибирский федеральный университет

Октябрьское месторождение медно-никелевых руд в административном отношении относится к Таймырскому автономному округу Красноярского края. Ближайшими населёнными пунктами являются города Талнах и Норильск, с которыми рудник «Таймырский» соединен железной и шоссейными дорогами. Связь с остальной территорией страны осуществляется по реке Енисей и Северному морскому пути, а также воздушным сообщением. Месторождение расположено на Талнахской промплощадке, где размещены производственные помещения и шахтные поля пяти подземных рудников.

Рудник "Таймырский" ведет отработку центральной части Октябрьского месторождения сульфидных медно-никелевых руд. В горный отвод рудника включены запасы восточной части Хараелахской основной, второй Северной, третьей Северной и четвертой Северной залежей.

Для условий рудника «Таймырский» предусматривается применение сплошной слоевой системы разработки с нисходящим (доля применения 23,9 %), восходящим (40,0 %) и комбинированным (30,9 %) порядком выемки слоёв. После проведения опытно-промышленных испытаний в ограниченных объемах (до 3,3 %) предусматривается применение камерной системы разработки.

Работа по определению оптимальной технологии отбойки проделана по преимущественной системе разработки, с восходящей выемкой слоев.

Сущность восходящего порядка выемки слоев состоит в том, что рудное тело в пределах панели разделяется на вертикальные ленты, которые обрабатываются слоями (высотой до 3,5 м) снизу вверх с оставлением между кровлей и закладкой свободного технологического пространства. Восходящий порядок выемки слоев может применяться при разработке слабо- и средне-нарушенных руд.

Преимущества восходящего порядка выемки – сравнительно небольшая продолжительность развития горных работ в панели, возможность совмещения во времени в одной очистной выработке процессов бурения, погрузки и доставки руды, не очень высокие требования к прочности закладки, обнажённой только в боку очистной выработки, сравнительно простые схемы подготовки и проветривания.

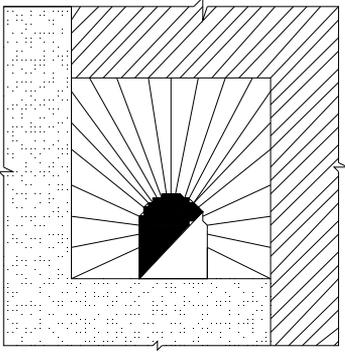
Недостатками восходящего порядка являются невозможность использования в сильнонарушенных рудах и определенные трудности при отработке последнего слоя (необходимость крепления, цикличность отработки) при породах сильной нарушенности.

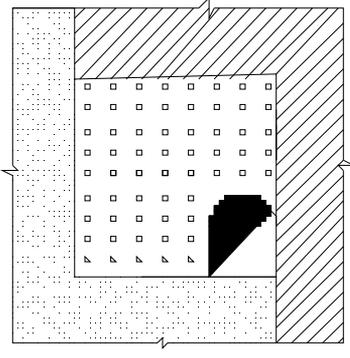
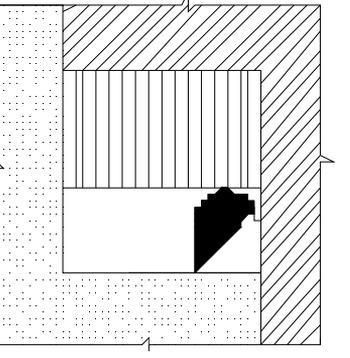
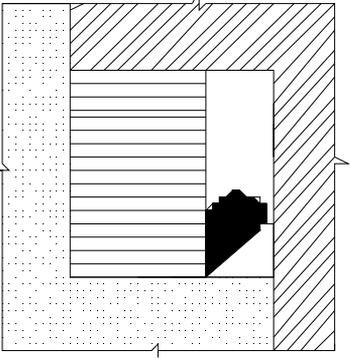
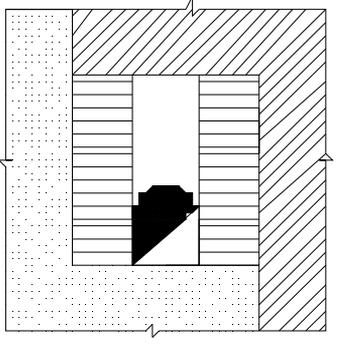
Все основные технологические операции при производстве добычи руды (включая проходческие работы, очистную добычу, крепление, оборку заколов, зарядание) выполняются с применением самоходного дизельного оборудования. В настоящий момент на руднике эксплуатируется 101 ед. самоходного дизельного оборудования.

Бурение шпуров и скважин при проходке и очистном бурении, креплении, разгрузке осуществляется с применением самоходных буровых установок (в количестве 22 единиц) фирм изготовителей "Тамрок" Финляндия, "Атлас-Копко" Швеция.

Для системы разработки с закладкой восходящими слоями применимы следующие схемы обурирования при шпуровой отбойке (табл. 1).

Таблица 1

<p>1</p> 	<p>Восходящие веера шпуров. При этой схеме обурирования длина шпуров увеличивается, дробление руды – неравномерное, проработка и оконтуривание блока хуже, чем при параллельном расположении шпуров. При веерном расположении шпуров увеличивается объем буровых работ. Достоинства данной схемы – высокая производительность, минимальное количество горных выработок, схема обеспечивает широкий фронт работ</p>
--	--

<p>2</p> 	<p>Параллельные горизонтальные шпуры. Такая схема обеспечивает хорошую проработку и оконтуривание блока, лучшее, по сравнению с веерной схемой, дробление руды, позволяет создавать гладкую, без заколов, более устойчивую кровлю, что повышает уровень безопасности. Недостатки такой схемы – низкая скорость работ, необходимость формирования вруба, малый фронт работ</p>
<p>3</p> 	<p>Параллельные восходящие шпуры. При такой схеме отбойки устраняются недостатки, отмеченные при схеме горизонтальных шпуров, она является наиболее эффективной, обеспечивает широкий фронт работ. Недостатком же такой схемы будет необходимость в формировании пространства вдоль выработки для возможности обустройства забоя и машинной доставки рудной массы</p>
<p>4</p> 	<p>Параллельные горизонтальные шпуры. Схема обеспечивает хорошую проработку и оконтуривание блока, лучшее, по сравнению с веерной схемой, дробление руды, обеспечивает широкий фронт работ, позволяет создавать гладкую, без заколов, более устойчивую кровлю, что повышает уровень безопасности. Недостатками такой схемы будет необходимость формирования пространства над выработкой для возможности обустройства забоя</p>
<p>5</p> 	<p>Параллельные горизонтальные шпуры. Схема обеспечивает хорошую проработку и оконтуривание блока, лучшее, по сравнению с веерной схемой, дробление руды, обеспечивает широкий фронт работ, позволяет создавать гладкую, без заколов, более устойчивую кровлю, что повышает уровень безопасности. Недостатками такой схемы будет необходимость формирования пространства над выработкой для возможности обустройства забоя</p>

В результате сравнения приведенных конкурентоспособных вариантов по критериям: безопасности, производительности, экономичности, потерь и разубоживания был сделан вывод о дальнейшем рассмотрении и сравнении схем 1 и 3.

Для окончательного выбора вариантов технологии шпуровой отбойки был проведен расчет параметров отбойки и сравнение вариантов по критерию себестоимости работ, по статьям: заработная плата, материалы, амортизация (рис. 1).

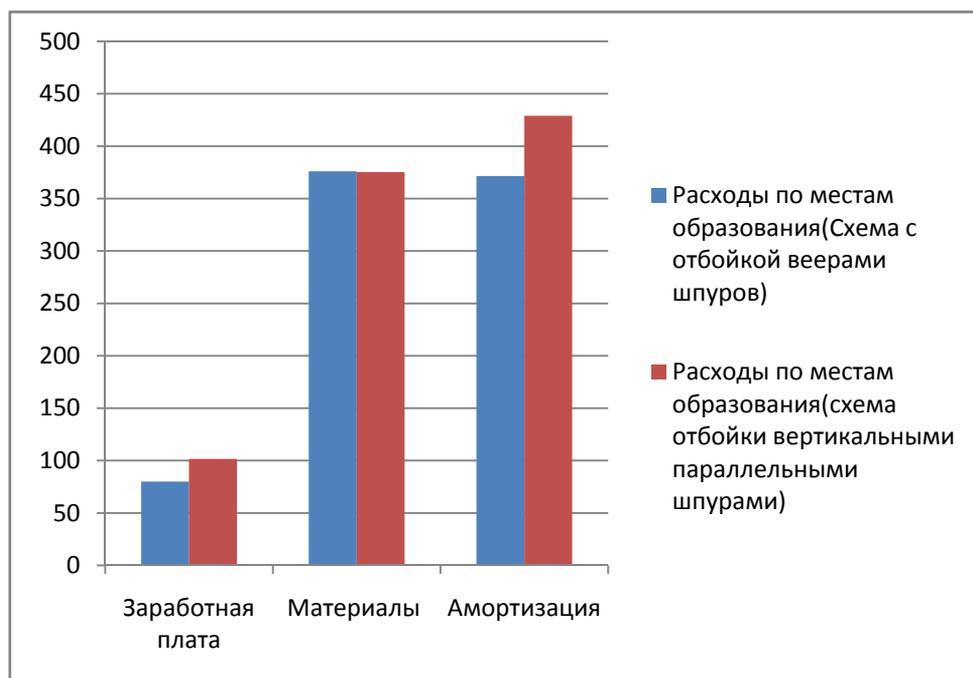


Рис. Структура распределения затрат по приведенным вариантам отбойки

Из приведенной диаграммы видно, что схема под номером 1 (восходящие веера шпуров) является наиболее благоприятной, так как обеспечивает меньшую себестоимость работ.

УДК 622.012:658.2.016

МУФТЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

И.В. Патачаков
Научный руководитель **И.В. Волчкова**
Сибирский федеральный университет

Муфты применяют практически во всех машинах и механизмах. Они являются ответственными сборочными единицами, часто определяющими

надежность всей машины. Тип муфты выбирают в зависимости от функций, которые она выполняет в данном приводе.

Муфты служат для соединения валов с целью передачи вращения без изменения скорости. Известно, что большинство устройств, систем состоят из отдельных узлов с входными и выходными валами. Таким узлом является, например, привод, состоящий из двигателя и редуктора. Кинематическая и силовая связь между этими узлами устройства и рабочим органом, для которого предназначен привод, осуществляется с помощью муфт.

Соединение валов является основным, но не единственным назначением муфт. Муфты применяют для включения и выключения исполнительного органа при непрерывно работающем двигателе, для предохранения рабочих органов от перегрузок и чрезмерно больших скоростей, для передачи крутящего момента.

Выделяют несколько видов муфт:

- 1) глухие (штульные, продольно-свертные, фланцевые);
- 2) компенсирующие (упругие, зубчатые и цепные, кулачково-дисковые, карданные);
- 3) предельные (предохранительные, обгонные, центробежные);
- 4) управляемые (фрикционные, кулачковые, пневматические, гидравлические, электромагнитные).

Муфта упругая штульно-пальцевая (рис. 1, а) по конструкции аналогична фланцевой муфте, вместо соединительных болтов у штульно-пальцевой муфты имеются стальные пальцы на которые установлены эластичные штулки. Эластичные элементы позволяют компенсировать незначительные осевые (для малых муфт 1–5 мм; для больших муфт 2–15 мм), радиальные (0,2–0,6 мм) и угловые (до 30') смещения валов. Упругие штульно-пальцевые муфты обладают хорошей эластичностью, высокой электроизоляционной способностью, просты в изготовлении, надежны в работе. Они находят широкое применение, особенно для соединения электродвигателей с исполнительными механизмами (машинами) при $d < 150$ мм.

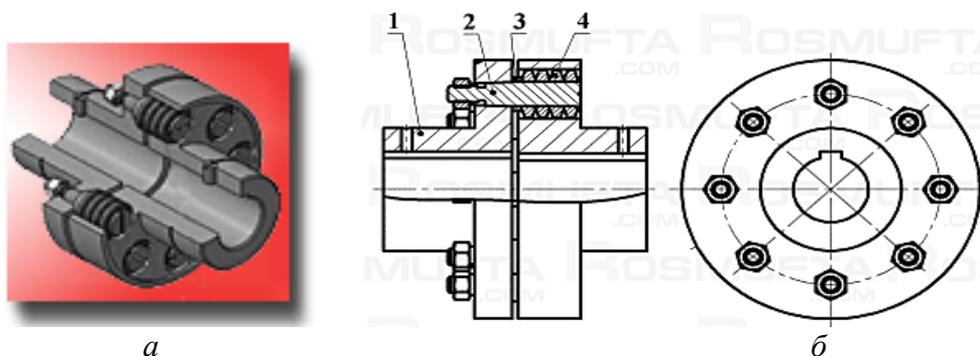


Рис. 1. Штульно-пальцевая муфта:
а – внешний вид; б – чертеж муфты: 1- корпус; 2 – палец;
3 – втулка распорная; 4 – втулка упругая

Упругие муфты со звездочкой – разновидность кулачковых муфт (рис. 2), у которых рабочие поверхности кулачков разделены резиновой звездочкой. Геометрия звездочки обеспечивает максимальный срок службы муфты. Кулачковые муфты отличаются малыми габаритными размерами, малым весом и низким маховым моментом при высокой передаче крутящего момента, имеет хорошие динамические характеристики; взрывобезопасны. Помимо прочего, они предохраняет привод от динамических перегрузок и ударов.

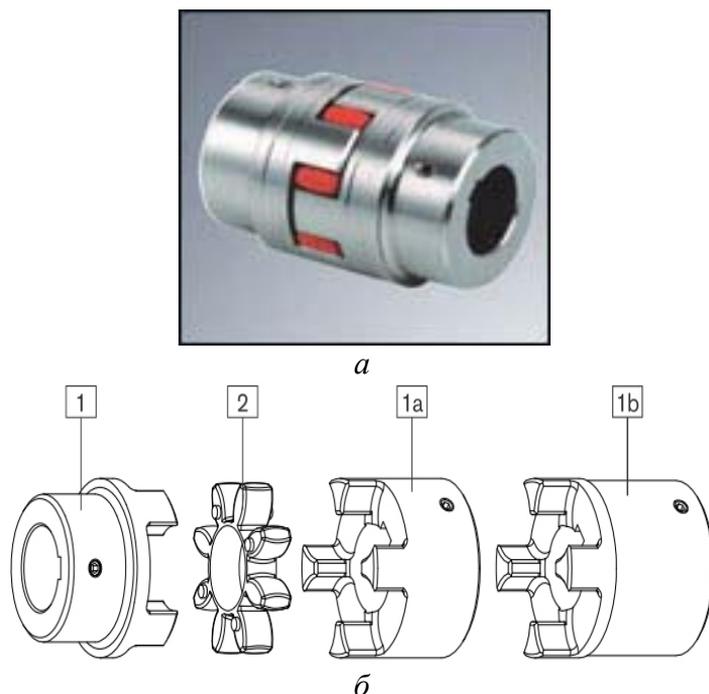


Рис. 2. Кулачковая муфта со звездочкой: а – внешний вид; б – сборка муфты:
 1 – стандартная ступица; 2 – зубчатый венец; 1а – большая ступица;
 1б – большая удлиненная ступица

Муфта пластинчатая соединительная типа МУП 2 предназначена для передачи крутящего момента от привода к насосам, компрессорам и другим вращающимся механизмам с одновременной компенсацией радиальных, угловых и осевых смещений соединяемых валов.



Рис. 3. Пластинчатая муфта

Цепные муфты изготавливаются двух типов: муфты с однорядной цепью (рис. 4, а) и с двухрядной цепью (рис. 4, б).

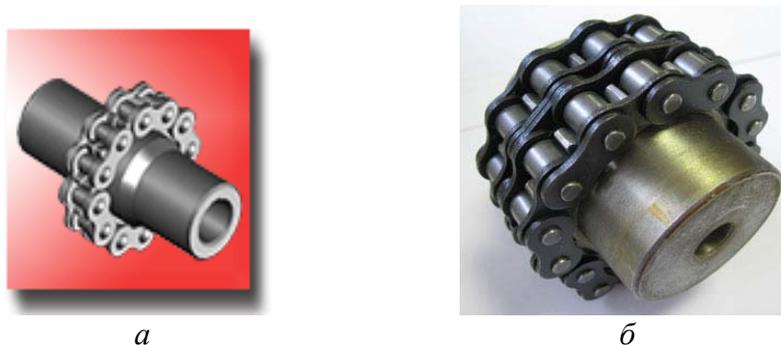


Рис. 4. Цепные муфты:
а - с однорядной цепью; б - с двухрядной цепью

Цепные муфты предназначены для конструкций с большими крутящими моментами, так как передают более высокие крутящие моменты, чем сами валы. Муфта представляет собой фланцы, соединенные друг с другом роликовой цепью, что позволяет сопрягать валы с несоосностью до 2 град.

Цепные муфты требуют регулярной смазки для обеспечения максимального срока службы и надежности, особенно при высоких частотах вращения.

Зубчатая муфта – это универсальная разновидность компенсирующих муфт. Она способна компенсировать любые погрешности в соосности валов в достаточно большом диапазоне .

Муфта зубчатая типа МЗ (рис. 5) состоит из двух зубчатых обойм (2), соединенных между собой пронизанными болтами, и двух зубчатых втулок (3), вставленных в обоймы. На обоймы устанавливаются крышки (4) с манжетами (1) скорости ведущего, в связи с чем для передачи вращения от одного механизма к другому применяют валы с двумя шарнирными муфтами. Соединяемые муфтой валы запрессовываются в отверстия зубчатых втулок, а зубья втулок входят в зацепление с зубьями обойм. Форма зуба втулок делает возможным их незначительное смещение в любых направлениях.

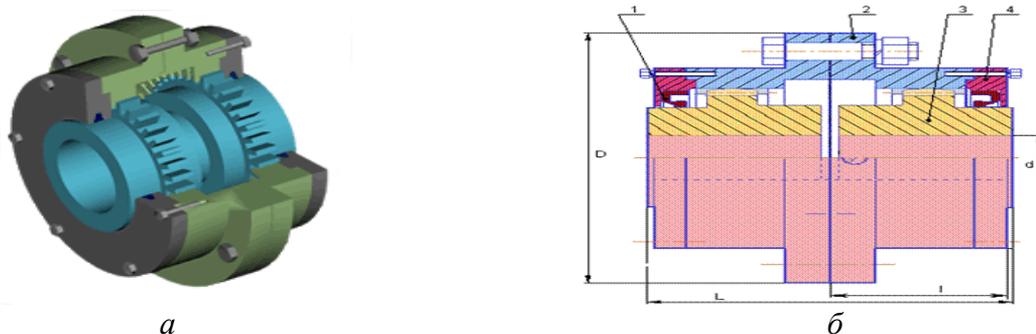


Рис. 5. Зубчатая муфта: а – внешний вид; б – чертеж

Допускают соединение валов с повышенным взаимным смещением осей как вызванными неточностями, так и специально заданными конструктором. Ярким представителем этого семейства являются шарнирные муфты (рис.6). Идея муфты впервые предложена Джироламо Кардано в 1570 г. и доведена до инженерного решения Робертом Гуком в 1770 г. Поэтому иногда в литературе они называются карданными муфтами, а иногда – шарнирами Гука. Шарнирные муфты соединяют валы под углом до 45 град, позволяют создавать цепные валы с передачей вращения в самые недоступные места. Всё это возможно потому, что крестовина является не одним шарниром, а сразу двумя с перпендикулярными осями.

Прочность карданной муфты ограничена прочностью крестовины, в особенности мест крепления пальцев крестовины в отверстиях вилок. Поломка крестовины – весьма частый дефект, известный практически каждому владельцу заднеприводного автомобиля.

Недостатком является неравномерность вращения ведомого вала при постоянной угловой муфтами

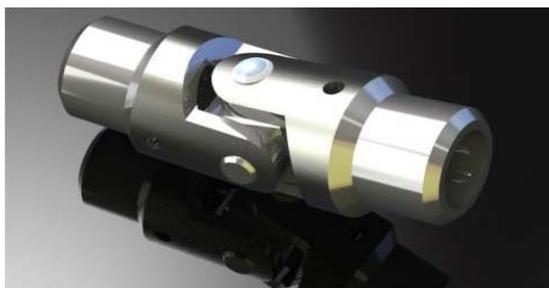


Рис. 6. Шарнирная муфта

Крестово-кулисная, плавающая, кулачково-дисковая, муфта Ольдгэма – устройство для соединения двух валов, состоящее из закрепленных на концах валов фланцев (полумуфт) и промежуточного диска, имеющего с обеих сторон взаимно перпендикулярные поперечные выступы прямоугольного профиля, входящие, в пазы на фланцах крестовой муфты (рис.7), – допускает значительные поперечные смещения валов и небольшие перекосы и осевые смещения за счёт зазоров.

Основными параметрами любой муфты является допускаемый вращающий момент, на передачу которого она рассчитана. По этому моменту и подбираются стандартные муфты. При подборе стандартных муфт учитывают также диаметры соединяемых концов валов, габаритные размеры, массу и момент инерции, предельную частоту вращения, определяемую прочностью вращающихся деталей под действием центробежных сил, износостойкостью, нагревом рабочих элементов или другими критериями.

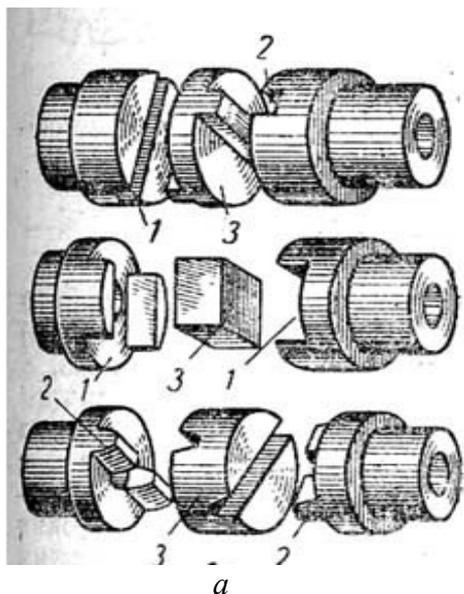


Рис. 7. Крестовая муфта:
а – внешний вид; б – соединение редуктора с рабочим органом машины

УДК 622.002.(5)

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИВОДОВ ГОРНЫХ МАШИН

А.В. Потехин, С.В. Бочегов
Научный руководитель Н.А. Дроздова
Сибирский федеральный университет

Технический уровень, качество и надежность редукторов в значительной мере определяют технико-экономические показатели работы любой горной машины, работающей, как известно, в тяжелых условиях.

Поскольку горные машины в процессе работы выполняют разнообразные функции (разрушения и транспортирования полезных ископаемых и породы, перемещения или поворота исполнительного органа и др.), конструкции редукторов, входящих в исполнительные механизмы, предназначенные для реализации этих функций, определяются спецификой машины (назначением, компоновкой узлов, условиями применения) и отличаются большим многообразием. В связи с этим особенностью редукторов большинства горных машин является невысокий уровень стандартизации и унификации элементов редукторов.

Редукторы различных горных машин в целом можно классифицировать по ряду признаков:

- 1) количество ступеней:

– одноступенчатые в горных машинах применяют только для привода лап погрузочных устройств;

– большинство редукторов горных машин имеют от двух до четырех ступеней (двухступенчатые характерны для разнообразных скребковых конвейеров всех типов; трехступенчатые – для передвижных скребковых конвейеров; четырехступенчатые – почти для всех режущих частей очистных комбайнов и погрузочных машин с нагребными лапами);

– пять и более ступеней имеют наиболее сложные редукторы, в основном применяемые в проходческих комбайнах.

2) тип передач (определяется его компоновкой и габаритами).

Подробно области использования того или иного типа редуктора и механической передачи представлены в табл. 1.

Помимо перечисленных классификационных признаков следует также указать на конструктивные особенности редукторов отдельных горных машин. Так, корпуса редукторов режущих узлов машин одновременно выполняют функцию силовой базы машины, поэтому корпуса кроме нагрузки от зубчатых зацеплений нагружены внешними усилиями, которые необходимо учитывать как при расчете самого корпуса, так и зубчатых передач. В механизмах перемещения проходческих комбайнов и погрузочных машин предусмотрено реверсирование вращения или переключение с рабочей скорости на маневренную.

Опыт работы горных машин показывает, что нагрузки в различных их элементах не являются постоянными.

Главным источником возмущений в горных машинах является процесс взаимодействия их исполнительных органов с разрушаемым массивом или транспортируемым материалом.

Укажем специфические условия эксплуатации:

- влажность и запыленность;
- абразивность разрушаемого массива;
- химическая активность шахтных вод;
- опасность обрушения горных пород на машину;
- случайный характер изменения прочностных свойств горных пород на различных участках горного массива;
- неравномерность перемещения машины;
- случайность изменения размеров и объема погружаемого материала;
- случайный характер поступления материала и его распределение на ленте конвейера и т. д. и т. п.

Все вышеперечисленное позволяет сказать, что редукторы горных машин работают в тяжелом режиме нагружения (рис.1).

Для обеспечения надежности горных машин необходимо учитывать основные особенности проектирования приводов этих самых машин, которые сводятся к следующему:

Таблица 1. Применение различных типов редукторов и передач в узлах приводов горных машин

Тип редуктора	Экскаваторы				Комбайны, буровые станки			Конвейеры		Локомотивы	Погрузочные машины		Ремонтное хозяйство
	Ходовой механизм	Подъемный механизм	Напорный механизм	Механизм поворота	Ходовой механизм	Механизм подачи	Другие механизмы	Средковье	Ленточные		Ходовой механизм	Привод рабочего органа	
Одноступенчатые	Цилиндрический	+					+					+	+
	Конический		+									+	+
	Червячный					+							+
Двухступенчатые	Цилиндрический с последовательным расположением ступеней	+	+	+	+	+	+	+	+	+		+	+
	Цилиндрический соосный	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
	Цилиндрический с раздвоенной ступенью	+	+	+	+		+	+	+	+		+	+
Коническо-цилиндрический	+	+	+	+							+	+	
Цилиндро-конический	+	+	+	+			+			+		+	+
Червячно-цилиндрический													+
Цилиндро-червячный													+
Планетарный												+	+
Цилиндрический трехступенчатый	+	+	+				+		+				+
Многоступенчатый	+	+	+				+					+	+

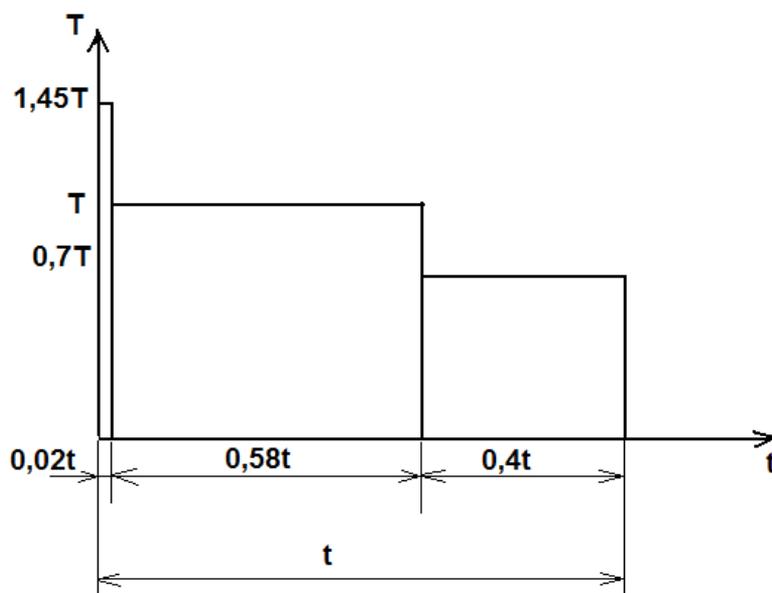


Рис. 1. Циклограмма нагрузки

– к применению зубчатых передач высших классов прочности, которые достигаются использованием высокопрочных сталей, современных методов упрочнения, повышением точности изготовления и уменьшением шероховатости рабочих поверхностей;

– расчету на предупреждение усталостного разрушения при контактной прочности (выкрашивания поверхности зубьев):

$$\sigma_H \leq [\sigma]_H;$$

– расчету на предупреждение усталостного разрушения при изгибе (излома зубьев)

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F;$$

– расчету на предупреждение смятия при перегрузке:

$$\sigma_{H \max} \leq [\sigma]_{H \max};$$

– расчету на предупреждение поломки от перегрузки:

$$\sigma_{F \max} \leq [\sigma]_{F \max};$$

– применению для валов высокопрочных материалов, их расчету не только на прочность, но и на жесткость;

– повышению жесткости корпусных деталей;

– установке многоступенчатых фильтров для грубой и тонкой очистки смазки в редукторы для предупреждения износа деталей редуктора, применению специальных присадок в смазочные материалы.

РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УВЕЛИЧЕНИЮ СРОКА СЛУЖБЫ КРЕПИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ В УСЛОВИЯХ РУДНИКОВ НОРИЛЬСКОГО ПРОМРАЙОНА

В.А. Сураев

Научный руководитель Д.А. Урбаев

Сибирский федеральный университет

Одним из основных факторов, характеризующих условия ведения горных работ на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель», является резкое повышение нарушенности руд и пород на вскрываемых участках шахтных полей с увеличением глубины разработки. На руднике «Скалистый» рудоуправления «Талнахское» этому способствует интенсивная тектоническая нарушенность массива горных пород. Традиционные виды крепи все чаще оказываются малоэффективными, возрастают сложности при проходке и эксплуатации горных выработок различного назначения.

Вертикальные стволы в Норильском промышленном районе в настоящее время сооружаются и эксплуатируются в самых разнообразных горно- и гидрогеологических условиях, усложняющихся с увеличением глубины разработки месторождений полезных ископаемых. Отличаясь своей уникальностью и важностью в производственном комплексе горнодобывающего предприятия, они требуют постоянного поиска и разработки эффективных решений по интенсификации их строительства и безремонтной эксплуатации [1], что, в свою очередь, является актуальной научно-технической проблемой развития горнорудной промышленности России. Особенно важны вопросы, касающиеся причин возникновения нарушений крепи вертикальных стволов шахт.

Произошедшие и возможные в будущем нарушения крепи стволов непосредственно на рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» обуславливаются наличием в пересекаемой стволами толще многолетнемерзлых пород, соляных пластов, агрессивных и напорных подземных вод, сильно трещиноватых и склонных к набуханию пород, значительной тектонической нарушенностью массива горных пород и связанными с этим особенностями процесса сдвижения горных пород под влиянием горных разработок и сильным влиянием очистных работ, ведущихся в пределах околоствольных предохранительных целиков.

На рудниках ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» наиболее распространенной является монолитная бетонная крепь. Но в осложненных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях (в верхней части) стволы крепились комбинированной тюбинго-бетонной крепью. Такая же

крепь применена в некоторых стволах на больших глубинах (рудник “Маяк”) и в сложных геологических условиях (рудник “Скалистый”).

В период проходки стволов происходили вывалы значительно трещиноватых пород, достигавшие, как например в Западном закладочном стволе рудника “Комсомольский”, глубины 2-3 м в интервале глубин 307–319 м в переслаивающихся значительно трещиноватых алевролитах, песчаниках и долеритах. После закрепления участка нарушений крепи не было. Систематические повреждения крепи вертикальных стволов на рудниках района, требовавшие периодических ремонтов, наблюдались большей частью в районах пересечения крупных тектонических нарушений. В различных местах отмечалась коррозия крепи и её разрушение, особенно в районах технологических швов.

По данным СПГГИ (ТУ), возможные причины нарушения крепи стволов в районе следующие:

- монолитная бетонная крепь не соответствует конкретным горно-геологическим условиям;

- технологические причины: отсутствие надлежащей гидроизоляции технологических швов между заходками крепи; крепь малой толщины в местах недоборов пород; сейсмическое воздействие взрывов шпуров в забое на свежееуложенный бетон;

- факторы, обусловленные горно-геологической обстановкой в местах сооружения стволов; разрушение доломитизированных мергелистых пород под действием воды, проникающей в породу через крепь по естественным и технологическим трещинам; снижение прочности породы “в куске”; набухание пород при контакте с водой; снижение сцепления по трещинам и сползание отдельных блоков по наклонным плоскостям в сторону ствола (долериты); развитие технологической трещиноватости и изменение механических свойств породы в результате действия взрыва; геологические нарушения в толще осадочных пород, в пределах которых породы вторично изменены, отличаются раздробленностью и низкой прочностью; коррозия бетона под действием агрессивных примесей в составе воды, стекающей по стволу.

В клетевом стволе рудника “Комсомольский” в месте пересечения соляного пласта в интервале глубин 593–608 м образуются обширные закрепные пустоты, начиная со времени проходки ствола (1966–1970 гг.), и это несмотря на периодический тампонаж этих пустот. По данным ВНИМИ, происходит постепенное вымывание соли водой, поступающей из трещиноватых вмещающих солевой пласт пород и, возможно, за счет утечек технической воды на вышележащем горизонте. Наблюдения, проводимые рудником, свидетельствуют о медленном и немонотонном нарастании деформаций бетонной крепи как в радиальном, так и в вертикальном направлениях.

Наглядным примером значительного влияния на ствол сопряжений являются результаты измерения нагрузок на крепь скипового ствола руд-

ника “Октябрьский”, где на глубине 1084 м нагрузка на бетонную крепь ствола достигла в первый период средней величины 0,35 МПа, а после проходки сопряжения составила в среднем 1,11 МПа при максимальных значениях $\approx 1,4$ МПа. Прочность пород (в образце) 89 МПа. В массиве они были сильно трещиноваты. Крепь нарушена не была.

По данным обследования в 2000 г. представителями ВНИМИ совместно с маркшейдером и механиком рудника “Октябрьский” стволов ВЗС и ВСС, возникновение новых и развитие старых нарушений не наблюдалось, хотя анализ результатов измерения вертикальных деформаций выявлял знакопеременные подвижки приствольного массива. При этом величины этих деформаций кое-где превышали допускаемые (в стволе ВСС). Как отмечалось в НИР по этим стволам, стволы подвержены постоянному воздействию окружающего массива от ведения очистных работ в предохранительном целике. И если скорость и величины деформаций имеют тенденцию к увеличению, то следует увеличить частоту замеров деформаций. Уместно напомнить, что допускаемые величины деформаций крепи, как и её прочности всегда принимают с коэффициентом надежности и достаточно существенным. Поэтому достижение деформациями допускаемых значений вовсе не означают непереносимое и немедленное разрушение крепи.

В стволах же рудника “Скалистый” нарушения крепи связаны с близостью мощного геологического нарушения и взаимным вредным влиянием ствола и околоствольных выработок.

Таким образом, поддержание стволов в безопасном рабочем состоянии при неблагоприятном воздействии указанных факторов является сложной задачей. В этих условиях необходимо высокое качество управления состоянием крепи ствола, важной составной частью которого следует считать комплекс мероприятий по ликвидации и предотвращению нарушений крепи мерами, соответствующими характеру и развитию во времени опасных воздействий на неё.

В мировой горной практике широкое распространение получил смолоинъекционный способ упрочнения горных пород, позволяющий существенно повысить устойчивость и улучшить гидроизоляцию приконтурного массива. Суть способа заключается в нагнетании в горный массив упрочняющих материалов, которые, заполняют трещины и отверждаются в них, склеивают отдельные породные блоки, образующие, в свою очередь, прочные породные конструкции с высокой несущей способностью.

Список литературы

1. Борщевский С.В. Современное направление развития технологии сооружения вертикальных стволов шахт / С.В. Борщевский // сб. науч. тр. НГУ. – №17. – Т.1 – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – С.406–412.

ДЕПЛАНАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩИЕ В РАЗЛИЧНЫХ ПРОЦЕССАХ.

А.А. Высотина

Научный руководитель С.Х. Туман
Сибирский федеральный университет

Процессы разрушения

При разрушении различных материалов в процессе работы или удара искусственно создаются зоны концентраций напряжений с моментным депланационным сдвигом и последующим резким поворотом траекторий главных напряжений. Искусственное создание таких зон позволяет интенсифицировать процесс разрушения и вести его в нужном направлении.

На рис. 1 показана зона разрушения, образующаяся перед рабочей кромкой резца.

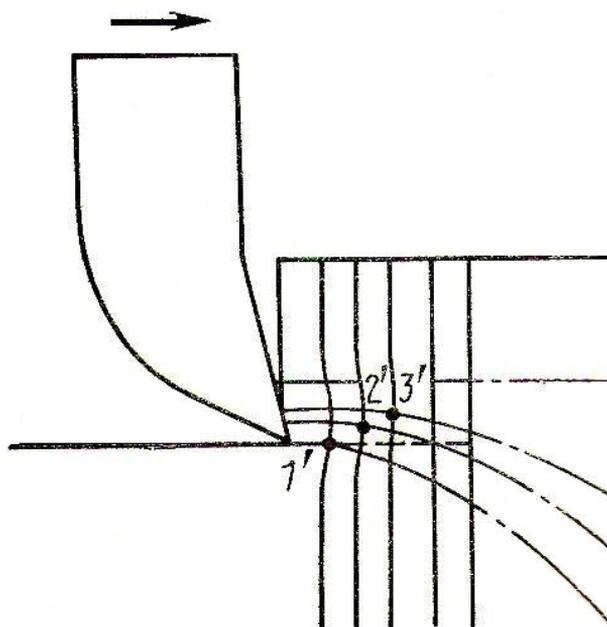


Рис. 1. Схема разрушения материала резцом

Здесь имеют место скачкообразная моментная депланация поперечных сечений и резкий поворот траекторий главных сжимающих напряжений, которые сначала в силу своеобразной инерции направлены вдоль нижней боковой удерживающей области, а далее резко поворачиваются, распространяясь в глубь разрушаемого материала. Критические точки 1', 2', 3' соответствуют наибольшим в данных поперечных сечениях депланационным сдвигам. Вдоль этих точек при резании в хрупких материалах

образуются трещины, в вязких – начинается текучесть, а в горных породах образуется уплотненное тело.

При разрушении ударом происходят также мгновенная моментная депланация сечений вокруг точки нанесения удара и резкий поворот траекторий главных напряжений.

Обработка металлов давлением

Обработка металлов давлением с точки зрения характера формирования в металле зон текучести.

Рассмотрим прессование круглого прутка через матрицу.

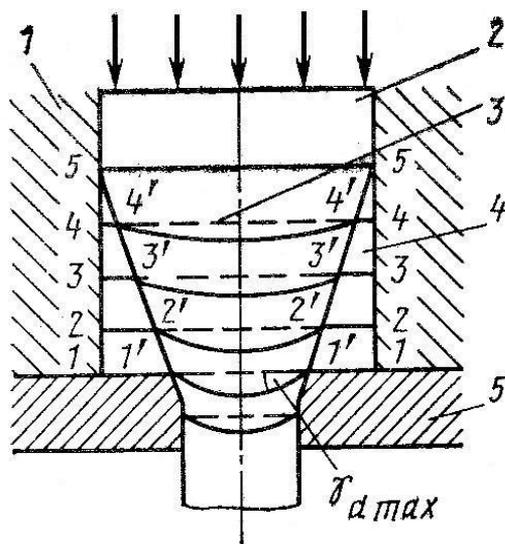


Рис. 2. Схема прессования круглого прутка через матрицу:
1 – контейнер; 2 – жесткое тело; 3 – область пластической деформации;
4 – мертвая зона; 5 – матрица.

Большой интерес при этом представляет последовательность развития пластической зоны и установление границ между жесткой частью прессуемого тела и пластической зоной во время течения металла через круглую щель в матрице. Изучение характера депланации сечений в прессуемом металле позволяет ответить на все эти вопросы. Развитие пластической зоны начинается в точках 1', так как здесь моментный депланационный сдвиг достигает максимальной величины $\gamma_{d \max}$. Затем пластическая зона распространяется по направлению точек 2', 3', 4', где происходит перегиб сечений при их депланации. Когда пластическая зона достигает боковой поверхности контейнера в точках 5 и распространяется на всю внутреннюю часть конуса пластичности, начинается течение металла через узкое цилиндрическое отверстие. По краям отверстия сохраняются мертвые зоны, в пределах которых депланация поперечных сечений невелика. Выше точек 5 металл может находиться в жестком состоянии.

Предположим, что депланация сечения является основной причиной появления в металлах зон пластичности.

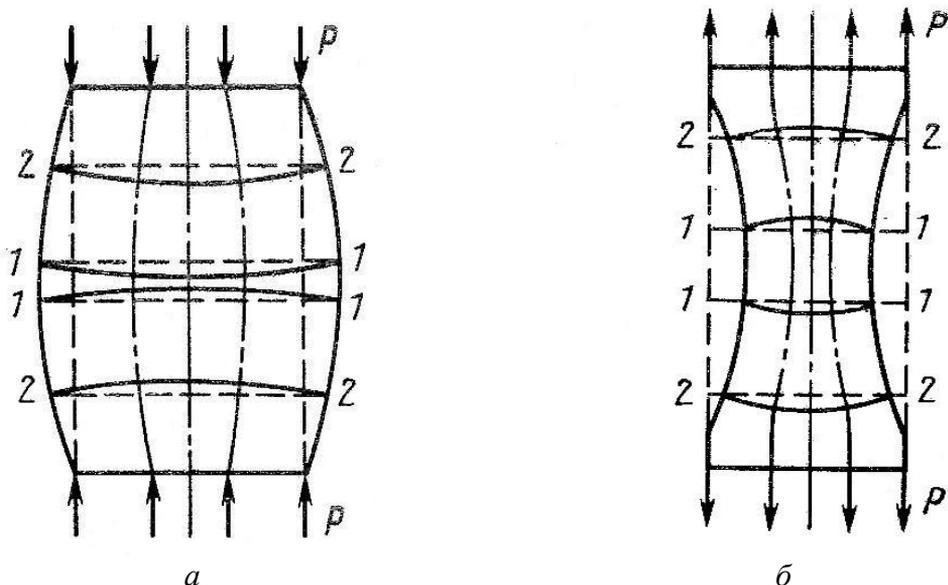


Рис. 3. Схема деформаций цилиндрических стальных образцов:
а – при сжатии; б – при растяжении

Перемещение точек в круглых образцах при их сжатии или растяжении равномерно распределенной силой вдоль центральной оси несколько больше, чем на периферии, что должно неизбежно вызывать небольшие депланации поперечных сечений этих образцов. Причем в середине образцов перемещения точек будет больше, чем в поперечных сечениях, расположенных ближе к месту приложения равномерно распределенной нагрузки, а следовательно, депланация средних сечений будет больше, чем крайних. Поэтому в образце без дефектов течение материала начнется в центральных поперечных сечениях, что приведет к бочкообразности образца или образованию шейки и вызовет уже значительные депланационные сдвиги.

Но образцы обычно имеют микроскопические дефекты, вокруг которых появляется моментная депланация сечений, вызывающая течение материала и образование шейки. Это показывает, что любое разрушение всегда сопровождается моментным депланационным сдвигом.

Процессы, связанные с горным давлением

При проявлении горного давления вокруг горных выработок так же, как и вокруг отверстий в плоских образцах, возникает концентрация напряжений со скачкообразным депланационным сдвигом.

На рис. 4 показана депланация сечений и поворот траекторий главных напряжений, образующиеся в результате горного давления над горизонтальной горной выработкой трапецеидального сечения.

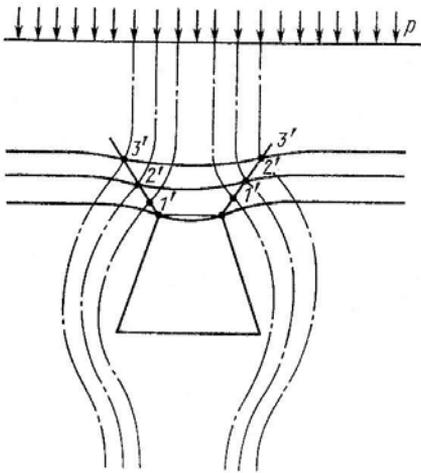


Рис. 4. Схема деформации сечений и распределение изостат вокруг горной выработки

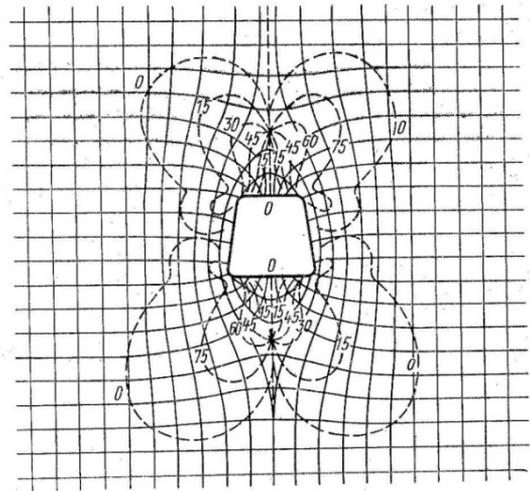


Рис. 5. Изостаты в модели горной выработки

Дана модель, имитирующая горную выработку в оптически активном материале (игдантине), помещенном между стеклянными стенками и равномерно нагруженным сверху. Изостаты перед углами выработки имеют резкие повороты, которые указывают, что здесь происходят высокие моментные депланационные сдвиги, вызывающие разрушение. При изучении горного давления и использование предлагаемых новых критериев прочности скачкообразно возникающего моментного депланационного сдвига и последующего резкого поворота траекторий главных напряжений может дать положительные практические результаты.

Динамические процессы

Основные положения моментно-депланационной теории будут иметь важное значение при исследовании динамических процессов, происходящих в машинах. Об этом говорят приведенные выше исследования ударных систем.

При действии динамических сил на деталь сложной конфигурации уменьшается скорость распространения волн в зонах моментной депланации сечений, а это приводит к снижению коэффициента динамичности.

Кроме того, есть основание полагать, что динамическое воздействие, по сравнению со статическим, изменяет углы поворота траекторий максимальных напряжений и величину разрушающего депланационного сдвига $\gamma_{d \max}$.

Эти вопросы должны явиться предметом углубленного изучения с применением тензометрии, специальных оптических установок, позволяющих фиксировать изохромы и изоклины при динамическом воздействии на модель, а также муарового и голографического методов со скоростной фотосъемкой.

ИЗЫСКАНИЯ ПО СЕЛЕКТИВНОЙ РАЗРАБОТКЕ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТРЕЛЬЦОВСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ

М.А. Кондратенко

Научный руководитель В.М. Иванцов

Сибирский федеральный университет

Обеспечение экономической эффективности и полноты использования недр при рыночной экономике предполагает перенос акцента внимания с контроля над эксплуатацией месторождения на стадию формирования стратегии освоения балансовых запасов и проектирования технологии.

Многие рудные месторождения имеют весьма неравномерное распределение полезных компонентов, но для них сегодня характерен поступательный валовый порядок разработки, в результате которого снижается извлекаемая ценность добываемой рудной массы.

Применение возвратно-поступательного порядка освоения месторождения позволит производить выемку богатых и бедных руд одновременно. В первую очередь добывают частично или полностью богатую руду, и при этом выполняют необходимые инженерные мероприятия для сохранения статического равновесия бедных руд. Во вторую очередь ведется последующая разработка бедных руд и оставленных запасов богатых руд. Такой подход позволит сократить срок окупаемости капитальных вложений и сохранить ресурсы для последующих стадий освоения – в чем и состоит концепция ресурсосберегающего подхода к освоению месторождения.

Для выработки и накопления опыта логики формирования новой стратегии освоения МПИ воспользуемся анализом практики разработки сложноструктурных месторождений, изысканием и оценкой возможностей их доработки по селективной технологии.

Месторождения Стрельцовского рудного поля характеризуются крайне неравномерным распределением металла в рудных участках. Добыча полезного ископаемого при подземной отработке в связи со сложной формой рудных тел, высоким качеством руд, слабой устойчивостью руды и вмещающих пород производится в основном двумя системами:

- горизонтальные слои в нисходящем порядке с заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой;
- заходки по восстанию с полным или частичным заполнением выработанного пространства твердеющей закладкой.

Суть первой системы заключается в следующем. В середине блока из ортов проходятся рудоспуски, вентиляционные и ходовые восстающие, восстающие для подачи материалов. Если блок имеет размеры 150–250 м, такие выработки проходятся по двум-трем линиям для того, чтобы длина откатки руды и породы в блоке не превышала 50 м – расстояние наиболее эффективного применения самоходной погрузочно-доставочной техники. Блок условно делится на слои высотой 3,5 м.

Отработка рудных тел производится заходками по простиранию до границы блока. Ширина заходок принимается равной 3,5–5 м. Если рудное тело имеет мощность более 3,5–5 м, оно отрабатывается двумя-тремя параллельными выработками. После отработки заходка отделяется от остальных выработок перемычкой и заполняется твердеющей закладкой.

В отдельных случаях для увеличения производительности блока последний разделяется по вертикали на два полублока, отрабатываемые одновременно.

Система заходки по восстанию с частичным или полным заполнением отработанного пространства твердеющей закладкой применяется при отработке пологопадающих пластообразных залежей. Залежь делится на панели, имеющие размеры 40–50 м по падению и 50–100 м по простиранию. Каждая панель делится по восстанию на заходки шириной 4–5 м. Отработка заходок ведется через одну снизу вверх. Руда транспортируется на откаточные выработки скреперами или погрузочно-доставочными машинами. Заходка отрабатывается на всю высоту панели и заливается твердеющей смесью. После отработки первоочередных заходок отрабатываются промежуточные. Эти заходки не закладываются. Потери и разубоживание при отработке заходками по восстанию составляют соответственно 3–9 и 25–35 %. Этой системой добывается 3 % от всех объемов руды.

Проблема полноты и качества использования недр в данных условиях остается актуальной. Мы полагаем, что, она успешно может решаться при организации селективной разработки месторождений на основе ее возвратно-поступательного порядка. Оставление сохраненными сегодня и более поздний возврат к разработке сравнительно бедных участков сложного оруденения позволит поддерживать высокий уровень экономичности предприятия. Для осуществления этой идеи требуется модернизировать технологию очистной выемки, приспособив ее к новым требованиям и условиям.

На сегодня имеет место пространственное разделение оруденения на рудные участки с выделением богатых, средней ценности и бедных руд. Для них возможен индивидуальный подход.

Используя данные практики и собственных изысканий, можно отметить следующее.

Для богатых участков при применении системы с твердеющей закладкой, полагаем, будет целесообразно технологический комплекс очистной выемки дополнить портативной дробилкой с местоположением у блокового восстающего. Ее применение позволит отбитую руду разделить на две-три фракции с посортным содержанием компонента. Доказано практикой, что работа обогатительной фабрики в посортном режиме позволяет существенно увеличить полноту извлечения.

Для участков со средней ценностью руд можно предложить технологию очистной выемки горизонтальными слоями с сухой закладкой. Для закладки используется порода от подрывки вмещающих пород на слое и от проходки выработок. Как и в первом случае, в очистной комплекс включается портативная дробилка, но уже расположением на слое.

Для малоценных руд можно рекомендовать технологию разработки с закладкой бедной рудой, получаемой после дробления в дробилке и последующего отсева на две фракции на слое. Мелкая с повышенным содержанием компонента фракция пойдет на обогащение, крупная на закладку (магазинирование). Блоки с магазинированной бедной рудой в последующем могут использоваться для выщелачивания. По данной технологии предполагается отрабатывать и некондиционные участки.

Первоочередной задачей следует признать необходимость конструктивной проработки вариантов исполнения систем разработки на базе применения самоходного оборудования.

Сравнительную оценку эффективности валовой и селективной разработки предполагается осуществить, используя дисконтированный подход и имея в виду факт, что часть затрат уже окупится за счет первой стадии. Это затраты на вскрытие, подготовку и (частично) на очистную выемку.

УДК 622.012:658.2.016

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИННОВАЦИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ ГЛУБОКИХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТВОЛОВ

В.В. Слизункова
Научный руководитель В.Л. Ермолаев
Сибирский федеральный университет

В условиях роста мирового дефицита качественных сырьевых ресурсов повышается экономическая привлекательность освоения месторождения полезных ископаемых глубокого залегания с высоким содержанием

полезных компонентов. На этом фоне прогнозируется значительный рост активности в области шахтостроения. Существующим до настоящего времени технологиям проходки стволов не всегда удается объединять воедино экономичность строительства, высокую скорость и безопасность работ. Это станет возможным лишь при модернизации технологий механизированной проходки шахтных стволов.

Приблизительно 70-80 % шахт сооружается традиционным буровзрывным способом, который значительно дешевле остальных способов проходки. Но никакие деньги не могут сравниться со здоровьем и жизнью человека, поэтому необходимо повышать долю проходки шахтных стволов механизированным способом и тем самым повышать уровень безопасности труда.

Существуют различные технологии механизированной проходки:

- проходка с восходящим разбуриванием передовой скважины;
- бурение шахтных стволов с применением буровых штанг и эрлифтного бурения;
- проходка стволов с применением бесштанговой стволопроходческой машины и с расширением пилотной скважины сверху вниз.

Полностью механизированная проходка шахтных стволов – это инновационный и перспективный метод проходки, открывающий возможность решения проблемы, связанной с быстрым доступом к полезному ископаемому и скорейшей окупаемостью капиталовложений. Одновременность процессов «разрушения», «погрузки» и «крепления» позволит обеспечить требуемую экономичность и сократить сроки строительства.

Полностью механизированная проходка шахтных сооружений средней глубины с восходящим разбуриванием передовой скважины предполагает наличие устройства породного массива и проходку подсечного штрека под местом заложения ствола. Крепь шахтного ствола может быть установлена только после проходки бурением всего ствола.

В течение многих десятилетий метод бурения восстающей выработки активно используется для сооружения главных подъемных и вентиляционных стволов.

Проходка шахтных стволов *с восходящим разбуриванием передовой скважины* – это высокопроизводительный и экономически целесообразный метод, применение которого ограничивается диаметром ствола (в общем случае до 6 м) и глубиной (максимально достигнутая глубина – примерно 1200 м). Глубина и диаметр шахтного ствола, сооружаемого данным способом, непосредственно зависят от предельно допускаемой нагрузки буровой штанги. Во всех случаях, когда существуют абсолютно стабильные горно геологические условия, а требуемый диаметр ствола шахты сравнительно невелик, проходка с восходящим разбуриванием передовой скважины может служить альтернативой основой шахтного строительства.

Машины для бурения восстающей выработки серии WIRTH HG используются как с поверхности, так и под землей для бурения вертикальных и наклонных стволов. Диапазон установленной мощности оборудования составляет 112–600 кВт, диаметры варьируются между 1,0 и 6,0 м, глубина бурения – до 1300 м. Компания WIRTH создала крупнейший в мире буровой станок – HG380 – с рабочим крутящим моментом 710 кНм. Буровые станки WIRTH для проходки восстающей выработки побили мировой рекорд по диаметру (7,1 м) и длине (1260 м) восстающей выработки.

Технология "V-Mole". Применяя способ бурения шахтных стволов бесштанговой стволопроходческой машиной с расширением предварительно пробуренной опережающей скважины, фирма Thyssen Schachtbau GmbH за прошедшие 25 лет построила в общей сложности более 20 км шахтных стволов. Фирма изготовитель бесштанговых стволопроходческих машин – Wirth Maschinen- und Bohrgerate-Fabrik GmbH, Эркеленц. Темп проходки полностью закрепленного ствола составлял при этом 10 м/сут и более. Средняя скорость проходки ствола шахты методом бурения с расширением предварительно пробуренной опережающей скважины может быть в пределах 7–8 м/сут и около 200 м/мес. Это значение минимальной производительности должно служить ориентиром при будущей разработке методов и оборудования для механизированной проходки шахтных стволов.

Проходка стволов с восходящим бурением передовой скважины предполагает наличие устойчивого массива и не предусматривает одновременное крепление ствола. Бурение ствола с применением бесштанговой стволопроходческой установки с расширением передовой скважины сверху вниз позволяет вести крепление ствола на предусмотренном вышележащем полке одновременно с проходкой. Но оба этих способа неосуществимы без наличия подсечной выработки. На доступ к месту заложения ствола может уйти много времени, что отразится на сроке окупаемости капиталовложений. Проходка стволов с помощью данных технологий целесообразна при наличии уже одного пройденного ствола либо близости эксплуатируемых рудников, расположенных рядом.

Система бурения с эрлифтом не требует наличия подсечной выработки – это надежная и простая система, предназначенная для бурения с большим диаметром или на большой глубине и позволяющая параллельное крепление стенок ствола на полке, расположенном выше привода буровой установки. Сущность этого метода основывается на принципе работы эрлифта – разности плотности давлений в затрубном пространстве и в буровой трубе, зависящей от объема сжатого воздуха, глубины его закачки и высоты подъема. Соотношение двух последних характеризует эффективность метода. Для увеличения глубины проходки необходимы детальное изучение принципа эрлифта, применение новых технических и конструктивных решений.

РАСЧЕТ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕАКЦИЙ В СТРЕЛЕ ДРАГЛАЙНА С ПОМОЩЬЮ ПРИНЦИПА ДАЛАМБЕРА

М.Е. Смирнова, А.Ю. Татаренко
Научный руководитель Т.Г. Калиновская
Сибирский федеральный университет

Драглайн — рабочее оборудование для разработки грунта ниже уровня стоянки экскаватора с ковшом, подвешенным на канатах (рис. 1). Ковш опускается на дно котлована или траншеи, а затем тянется к машине тяговым канатом, при этом ковш наполняется срезаемым грунтом. Затем груженный ковш поднимается подъемным канатом, одновременно поворачивая платформу к месту разгрузки. После разгрузки ковша поворачивают платформу со стрелой к забою и одновременно опускают ковш. Чтобы не заменять стреловой канат, длина которого рассчитана, стрелу прямой лопаты, для подвески удлиненной стрелы драглайна применяют дополнительные канаты подвески стрелы, соединяющие ось головных блоков стрелы с подвижной траверсой.



Рис. 1. Экскаватор-драглайн в карьере

Подъемный канат отвечает за вертикальное перемещение (подъем). Подтягивание каната к экскаватору реализуется при помощи тягового каната. При этом осуществляется подрезка грунта и заполнение ковша. При одномоментном натяжении обоих канатов растет расстояние между соединительным звеном и опрокидным блоком, что способствует натяжению разгрузочного каната, и, как следствие, — подъему передней части ковша.

Раньше драглайны были очень распространены во всех классах и группах строительных и карьерных одноковшовых машин. Сейчас в связи

с широким распространением моделей гидравлических экскаваторов драглайны идут как представители тяжелого класса, обычно – карьерные.

Главными показателями технического уровня экскаваторов являются их производительность, надежность, удельный расход электроэнергии и металлоемкость. В связи с этим на стадии проектирования должны быть заложены конкретные технические решения, позволяющие повысить эффективность функционирования всей комплексной системы.

Одним из важнейших конструктивных факторов, определяющих величину эксплуатационных расходов, удельную металлоемкость, а также компоновку оборудования на поворотной платформе, является выбор рационального передаточного числа редуктора, номинальной частоты вращения приводных двигателей главных механизмов подъема, напора (тяги) поворота. Высокооборотные электродвигатели обеспечивают меньшую массу, рациональную компоновку на поворотной платформе при необходимых суммарных моментах нагрузки на рабочее оборудование, но при этом значительно увеличивают крайне нежелательные динамические нагрузки на рабочее оборудование и металлоконструкции экскаватора.

Снижение динамических нагрузок приводит к повышению долговечности рабочих канатов и других узлов и обеспечит значительный экономический эффект (известно, что расходы на рабочие канаты за срок службы машины достигают по стоимости суммы, равной цене машины).

Таким образом, задача определения динамических нагрузок на металлоконструкции и механическое оборудование главных механизмов с целью их снижения и повышения надежности узлов оборудования является актуальной.

В данной работе рассматривалось определение динамических реакций в тяговом канате и шарнире крепления стрелы экскаватора драглайна при равномерном вращении стрелы драглайна вместе с ковшом вокруг главной оси поворотного механизма (рис. 2).

Методом определения динамических реакций являлся метод кинестатики, основанный на известном принципе Даламбера: если в любой момент времени к каждой из точек системы кроме действующих на нее внешних и внутренних сил присоединить соответствующие силы инерции, то полученная система сил будет уравновешенной и к ней можно применить все уравнения статики. При этом из составленных уравнений можно выразить величины реактивных усилий. Они зависят от сил инерции и носят динамический характер. В технике динамическими реакциями часто называют полные реакции опор вращающегося тела, возникающие в результате действия как сил инерции, так и активных сил.

В настоящей работе динамическими считались добавочные усилия в опорах (канатах), возникающие от сил инерции, которые, согласно законам теоретической механики, в общем случае могут быть приведены к главно-

му вектору и главному моменту сил инерции. В процессе проведения расчетов сначала находили полные реакции, затем определяли входящие в них динамические добавки.

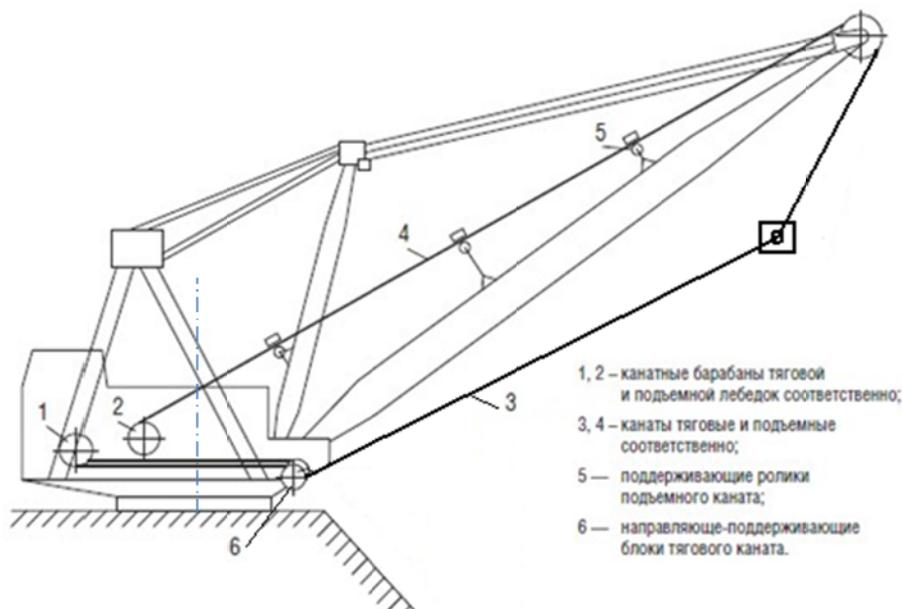


Рис. 2. Схема экскаватора-драглайна

В расчетах заданными величинами являлись: угловая скорость стрелы, масса и длина стрелы, масса ковша, расстояние от оси вращения до точки крепления стрелы, угол наклона стрелы к вертикали, угол между осью стрелы и подъемным канатом, высота подъема ковша и расстояние от ковша до оси вращения (рис. 3, а).

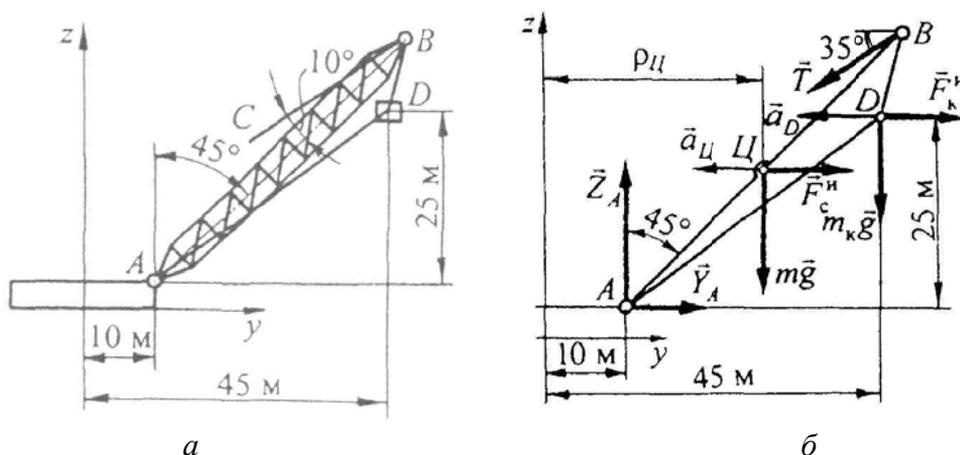


Рис. 3. Расчетные схемы стрелы с ковшом для определения динамических реакций: а – геометрическая схема; б – схема приложения сил

Учитывая положение стрелы на рис. 3, а, покажем на схеме (рис. 3, б) действующие активные силы тяжести стрелы и груза, натяжение каната

в точке В, силы опорных реакций для точки А, а также силы инерции стрелы и ковша, возникающие из-за центростремительных ускорений при вращении стрелы. Вычислим силы инерции исходя из значений угловой скорости, масс стрелы и ковша и геометрических параметров экскаватора.

Составляя для полученной плоской системы произвольно расположенных сил три уравнения статики

$$\sum F_{ky} = 0, \quad \sum F_{kz} = 0, \quad \sum m_A(\bar{F}_k) = 0,$$

найдем неизвестные силы реакций. Их величины составляют

$$Z_A = 2772,16 \text{ кН},$$

$$Y_A = 2419,61 \text{ кН},$$

$$T = 3122,79 \text{ кН}.$$

Чтобы определить вошедшие в эти реакции динамические добавки, возникающие в результате равномерного вращения стрелы с ковшом, исключим из вышеприведенных уравнений равновесия активные силы. Тогда в полученные уравнения войдут только силы инерции и динамические реакции, которые имеют значения

$$Z_A^{\text{дин}} = 196,49 \text{ кН},$$

$$Y_A^{\text{дин}} = 204,13 \text{ кН},$$

$$T^{\text{дин}} = 342,7956 \text{ кН}.$$

При сравнении величин чисто динамических компонентов со значениями полных реакций видно, что при заданной угловой скорости вращения платформы динамические добавки составляют от 7 до 11 % полных реакций.

В работе продемонстрировано определение динамических составляющих при равномерном вращении, однако тот же способ можно использовать для момента начала движения и остановки поворотного механизма экскаватора.

ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА

УДК 536.424.1 + 539.89

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО РАСШИРЕНИЯ СУЛЬФИДОВ $Mn_{1-x}Fe_xS$

Е.И. Михиенкова

Научный руководитель М.В. Горев
Сибирский федеральный университет

Твердые растворы на основе сульфида марганца MnS с различными катионными замещениями представляют интерес как с прикладной, так и фундаментальной точек зрения вследствие их необычных электрических и магнитных свойств. В частности, несомненный интерес представляет обнаруженное недавно такое практически значимое явление, как колоссальное магнитосопротивление – сильная зависимость электрического сопротивления материала от магнитного поля.

Чистый моносульфид марганца MnS при комнатной температуре имеет гранецентрированную кубическую решетку типа $NaCl$ (пространственная группа $Fm\bar{3}m$). При температуре ниже температуры Нееля $T_N \approx 150$ К происходит фазовый переход с ромбоэдрическим искажением решетки и антиферромагнитным упорядочением спинов марганца в слоях, перпендикулярных направлению $[111]$.

Увеличение концентрации железа сопровождается сжатием кубической ячейки и уменьшением параметра a . По данным магнитных измерений температура антиферромагнитного перехода возрастает от 150 ($x=0.0$) до 196 К ($x=0.25$). В области концентраций $0.25 < x < 0.29$ наблюдается концентрационный фазовый переход из антиферромагнитного состояния в ферромагнитное, а также происходит резкое (на несколько порядков) уменьшение величины электросопротивления.

В результате исследования магниторезистивных свойств установлено, что образцы с составами $0.25 < x$, являющиеся антиферромагнитными полупроводниками, не имеют существенной зависимости сопротивления от магнитного поля в интервале температур 77–300 К и в магнитных полях до 10 кЭ. В образцах с промежуточными концентрациями $0.25 < x < 0.40$ обнаружена зависимость температурного хода, величины и знака магнитосопротивления от магнитного поля. Для состава с $x=0.29$ эффект отрицатель-

ного магнитосопротивления возрастает с понижением температуры и достигает максимального значения $\delta_H = (\rho_H - \rho_0) / \rho_0 = -83\%$ при 160 К в поле 10 кЭ. С увеличением концентрации железа эффект уменьшается и для $x=0.30$ составляет -40% . В ферромагнитных образцах с $x > 0.40$ величина отрицательного магнитосопротивления не превышает 10% . Предполагается, что одним из возможных механизмов эффекта колоссального магнитосопротивления может быть магнитное и электронное расслоение фаз. Ферромагнитные образцы с $x > 0.3$ при комнатной температуре представляют собой совокупность парамагнитной и ферромагнитной фаз, а при 77 К – двух магнитоупорядоченных фаз. При понижении температуры парамагнитная часть вещества переходит в магнитоупорядоченное состояние.

Несмотря на активные исследования таких соединений различными методами, до сих пор остаются не полностью выясненными многие основополагающие вопросы.

Для понимания механизмов фазовых переходов, фазового расслоения и магнитосопротивления в твердых растворах $Mn_{1-x}Fe_xS$ важное значение имеют и теплофизические исследования, в частности, тепловое расширение. Однако прямых измерений теплового расширения сульфидов марганца, насколько нам известно, не проводилось. В литературе представлены лишь результаты измерений температурных зависимостей параметра кристаллической решетки рентгеноструктурными методами. Такие измерения не обладают достаточной точностью и подробностью.

В данной работе проведены подробные исследования теплового расширения твердых растворов $Mn_{1-x}Fe_xS$ с целью точного определения температур фазовых переходов, уточнения концентрационной фазовой диаграммы Т-х, определения аномальной деформации образцов для оценки параметров спин-решеточного взаимодействия.

Образцы для исследований были приготовлены в Институте физики СО РАН. Для выращивания монокристаллов $Mn_{1-x}Fe_xS$ первоначально были синтезированы порошковые сульфиды, которые получены сульфидированием рассчитанных смесей оксидов металлов и чистых металлических элементов. Кристаллизация монокристаллов выполнена методом зонной плавки из расплава порошковых сульфидов в парах серы, помещенных в стеклоуглеродный контейнер, с использованием индукционного нагрева и протягиванием контейнера через одновитковый индуктор со скоростью 5–10 мм/час (вертикальный вариант).

Рентгеноструктурные исследования выполнены на монокристаллической установке и класса ДРОН на порошках (полученных путем растирания монокристаллов). О качестве образцов свидетельствует отсутствие дополнительных структурных рефлексов. Параметр элементарной кубической ячейки (пространственная группа $Fm\bar{3}m$) синтезированных образцов практически линейно уменьшается с ростом концентрации Fe.

Для измерений был приготовлен монокристаллический образец MnS в форме параллелепипеда с размером вдоль оси a кубической решетки $L_0=4.915$ мм. Тепловое расширение образца исследовалось в диапазоне температур 100–370 К на dilatометре DIL-402C в динамическом режиме. Для калибровки и учета теплового расширения измерительной системы использовались эталоны из плавленого кварца.

Графики полученных зависимостей коэффициента линейного теплового расширения α от температуры изображены на рис. 1. Как видно из рисунка, аномалия коэффициента теплового расширения, связанная с фазовым переходом из исходной кубической фазы в антиферромагнитную ромбоэдрическую фазу, наблюдается в достаточно широкой области температур вплоть до 250 К. При увеличении концентрации железа аномалия коэффициента теплового расширения становится все более размытой, уменьшается по амплитуде и смещается в сторону более высоких температур. Для состава с $x=0.18$ аномалия теплового расширения имеет достаточно сложную форму, что может быть связано с неоднородностью состава образца. Ее можно представить как наложение аномалий, характерных для составов с $x=0.0$; 0.10 и 0.29.

Для совместного анализа тепловых и магнитных свойств MnS и оценки величины спин-решеточного взаимодействия необходимы корректное описание решеточного (неаномального) вклада в деформацию $\Delta L/L$ и коэффициент теплового расширения $\alpha(T)$.

При отсутствии экспериментальных данных о спектре решеточных колебаний использовали несколько методов аппроксимации решеточной деформации и выделения аномального вклада. Традиционный подход, когда удлинение $\Delta L/L(T)$ при высоких температурах аппроксимируется линейной зависимостью, приводит к завышению величин аномального вклада в деформацию при $T < T_N$, зависящих от температурного диапазона, в котором осуществляется аппроксимация.

При высоких температурах коэффициент теплового расширения $\alpha(T)$ иногда описывают линейной зависимостью от температуры. Учет этих вкладов значительно улучшает аппроксимацию температурной зависимости $\alpha(T)$ и деформации при $T > T_N$. Однако и такой подход не является корректным.

При уменьшении температуры коэффициент теплового расширения должен стремиться к нулю, и в низкотемпературной области ($T < T_N < \Theta_D$) необходимо учитывать связь теплового расширения и теплоемкости и ее температурную зависимость, хотя бы в рамках модели Дебая. Поскольку коэффициент теплового расширения измерен в ограниченной области температур $T > 100$ К и в кубической фазе ($T > T_N$) слабо зависит от температуры, определить температуру Дебая из аппроксимации экспериментальных данных $\alpha(T)$ практически невозможно. Поэтому воспользовались значени-

ем $\Theta_D=274.476$ К, определенным из анализа данных по теплоемкости, и описали поведение коэффициента теплового расширения при $T>250$ К зависимостью $\alpha(T)\sim C_D(T)$. Обработка $C_p(T)$ в модели Дебая проводилась зависимостью

$$C_D(T) = 9Ra\left(\frac{T}{\Theta_D}\right)^3 \int_0^{\Theta_D/T} t^4 \frac{\exp(t)}{(\exp(t) - 1)^2} dt$$

где a и Θ_D – подгоночные параметры.

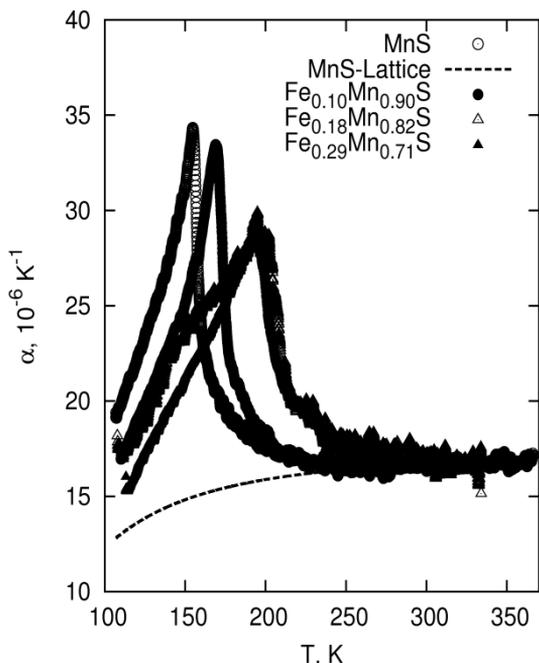


Рис. 1. Температурные зависимости коэффициента теплового расширения твердых растворов $Mn_{1-x}Fe_xS$. MnS -Lattice – регулярный вклад

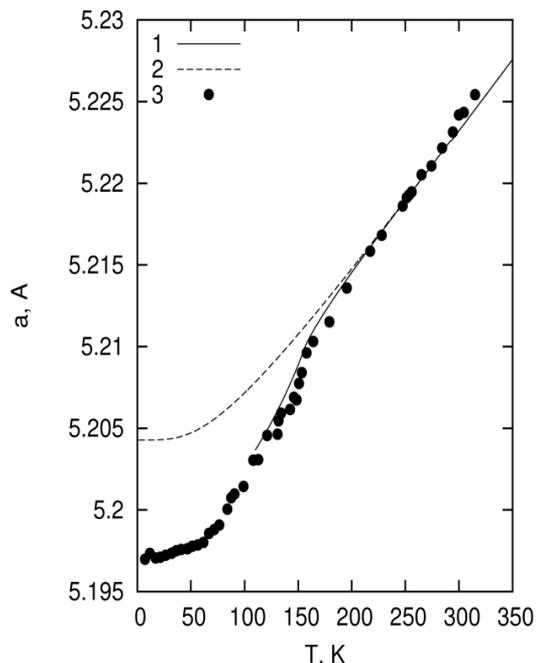


Рис. 2. Параметр a кристаллической решетки MnS : 1 – расчет из $\alpha(T)$, 2 – регулярный вклад, 3 – структурные данные

Результат обработки $\alpha(T)$ для MnS представлен на рис. 1. На рис. 2. показаны результаты расчета параметра кристаллической решетки и регулярный (решеточный) вклада из данных по тепловому расширению, а также сравнение их с результатами структурных исследований.

Теперь можно выделить аномальную составляющую деформации (рис. 3) и использовать ее в дальнейшем для совместного с магнитными свойствами анализа и определения величины спин-решеточного взаимодействия. Как видно из рисунка, данные дилатометрических (ΔL) и нейтронографических (интенсивность магнитного $[111]$ рефлекса) хорошо согласуются и дополняют друг друга.

Наличие данных по теплоемкости и тепловому расширению позволяет вычислить величины сдвига температуры фазового перехода под

влиянием гидростатического и одноосных давлений и построить фазовую Т-р диаграмму MnS. Для определения dT_N/dp воспользовались соотношениями Пиппарда, устанавливающими связь между теплоемкостью и коэффициентами теплового расширения вблизи температуры фазового перехода:

$$C_p = \frac{V_m T_N}{\gamma_i} \alpha_a + const,$$

$$\gamma_a = \frac{dT_N}{d\sigma_a}, \quad \frac{dT_N}{dp} = 3\gamma_a,$$

где C_{pn} – теплоемкость, V_m – молярный объем.

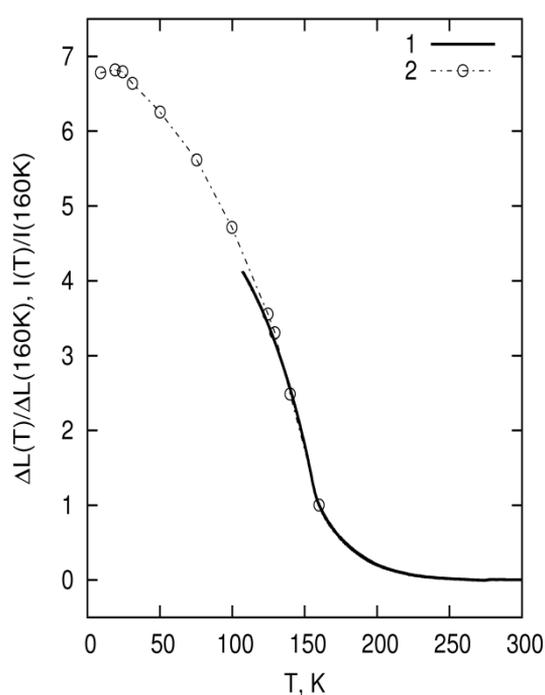


Рис. 3. Относительные величины аномальной деформации (1) и интенсивности рефлекса [111] (2) для MnS

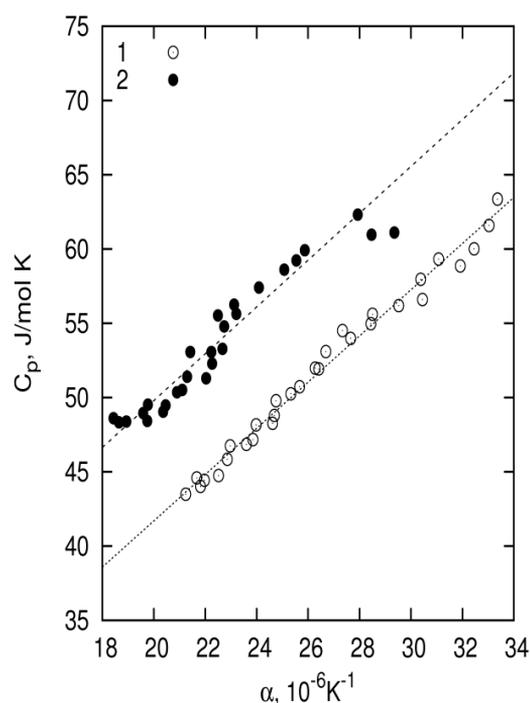


Рис. 4. Выполнимость соотношения Пиппарда вблизи фазового перехода в MnS: 1 – $T < T_N$, 2 – $T > T_N$

Результаты совместной обработки теплоемкости и коэффициента теплового расширения вблизи T_N как в исходной кубической фазе ($T > T_N$), так и в искаженной ($T < T_N$) показывают, что выполняется соотношение Пиппарда. Отклонения от зависимостей наблюдаются при достаточном удалении от температуры фазового, а также в непосредственной окрестности превращения, где наиболее сильно сказывается влияние несовершенства образцов, динамический характер измерений теплового расширения и недостаточная точность совмещения температурных шкал массивов дан-

ных $C_p(T)$ и $\alpha(T)$. Полученные значения $dT_N/d\sigma_a$, равные 2.03 K/GPa и 2.06 K/GPa соответственно выше и ниже T_N , хорошо согласуются друг с другом. Расчитанная величина сдвига температуры Нееля под действием гидростатического давления $dT_N/dp \approx 6.1$ K/GPa слегка выше значения, полученного экспериментально при исследованиях в области давлений в несколько десятков GPa.

УДК-539,-544

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ СОРБЦИИ МОЛЕКУЛЯРНОГО ВОДОРОДА НА МОДЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ h-BN

Д.С. Калякин

Научный руководитель А.А. Кузубов

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

В настоящее время активно изучается возможность использования углеродных структур в качестве сорбентов водорода, что открывает широкие перспективы в водородной энергетике и применении водорода в качестве эффективного топлива. Однако хемосорбция на углеродных структурах не происходит при нормальных температурах, а физическая сорбция гораздо слабее, чем на поверхностях с неравномерно распределенным зарядом. С этой точки зрения гораздо предпочтительнее является поверхность h-BN, в которой отрицательный заряд смещен в сторону атома азота.

Цель работы – теоретическое исследование сорбции молекулы водорода на поверхности h-BN.

Для определения оптимального положения молекулы водорода применяли метод Хартри-Фока и теорию возмущений Меллера-Плессета второго порядка с использованием набора базисных функций 6-31G**. Определение оптимального положения молекулы водорода вели на двух модельных участках, в центре которых были расположены:

- 1) связь B-N (рис. 1);
- 2) шестиугольник, образованный атомами бора и азота (рис. 2).

В ходе исследования рассчитана энергия вандерваальсового взаимодействия молекулы водорода на модельной поверхности h-BN в следующих положениях.

Для модельного участка 1 (табл. 1):

1. Над связью.

1.1. Горизонтально вдоль связи.

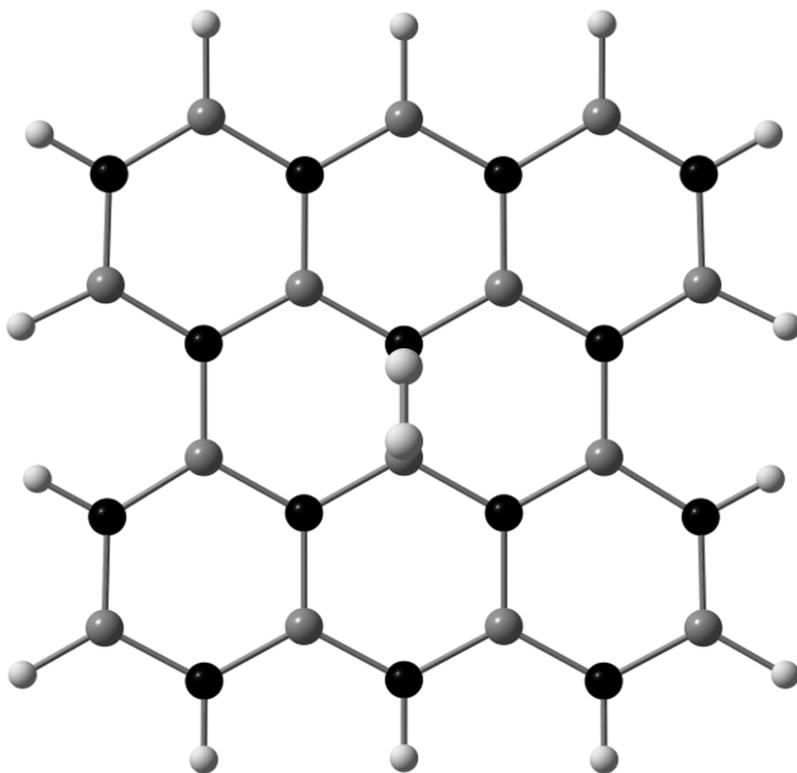


Рис. 1. Модельный участок 1 с сорбированной молекулой водорода горизонтально вдоль связи B-N

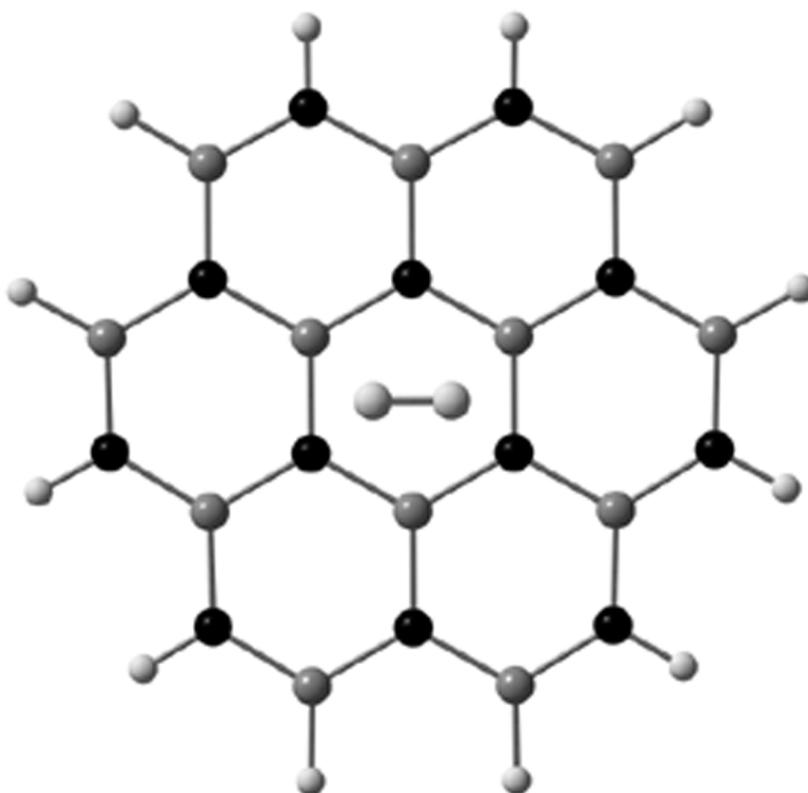


Рис. 2. Модельный участок 2 с молекулой водорода, сорбированной горизонтально над шестиугольником атомами водорода к связи B-N

- 1.2. Горизонтально поперек связи.
- 1.3. Вертикально.
- 1.4. Горизонтально с поворотом в 45° в плоскости.
- 1.5. Горизонтально поперек связи с поворотом на 45° в пространстве.
- 1.6. Горизонтально вдоль связи с поворотом на 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому бора.
- 1.7. Горизонтально вдоль связи с поворотом на 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому азота.
2. Над бором:
 - 2.1. Горизонтально вдоль связи.
 - 2.2. Горизонтально поперек связи.
 - 2.3. Вертикально.
 - 2.4. Горизонтально с поворотом на 45° в плоскости.
 - 2.5. Горизонтально поперек связи с поворотом на 45° в пространстве.
3. Над азотом.
 - 3.1. Горизонтально вдоль связи.
 - 3.2. Горизонтально поперек связи.
 - 3.3. Вертикально.
 - 3.4. горизонтально с поворотом на 45° в плоскости.
 - 3.5. горизонтально поперек связи с поворотом на 45° в пространстве.

Таблица 1. Зависимость энергии вандерваальсового взаимодействия от положения атома водорода над модельным участком 1 поверхности h-BN

Положение	Энергия связи, эВ
1.1	-0.0208
1.2	-0.0193
1.3	-0.0333
1.4	-0.0181
1.5	-0.0210
1.6	-0.0278
1.7	-0.0237
2.1	-0.0224
2.2	-0.0232
2.3	-0.0314
2.4	-0.0234
2.5	-0.0266
3.1	-0.0156
3.2	-0.0104
3.3	-0.0357
3.4	-0.0108
3.5	-0.0252

Для модельного участка 2 (табл. 2):

4. Над шестиугольником.

4.1. Горизонтально атомами водорода к связи B-N.

4.2. Горизонтально атомами водорода к атому бора и азота.

4.3. Вертикально.

4.4. Горизонтально с поворотом 15° в плоскости.

4.5. Горизонтально с поворотом 45° в плоскости и пространстве.

4.6 Горизонтально с поворотом 15° в плоскости и 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому бора.

4.7 Горизонтально с поворотом 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому бора.

4.8 Горизонтально с поворотом 15° в плоскости и 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому азота.

4.9 Горизонтально с поворотом 45° в пространстве верхним атомом водорода к атому азота.

Таким образом, были исследованы все возможные положения сорбции молекулы водорода на поверхности h-BN.

Таблица 2. Зависимость энергии вандерваальсового взаимодействия от положения атома водорода над модельным участком 2 поверхности h-BN

Положение	Энергия связи, эВ
4.1	-0.0233
4.2	-0.0230
4.3	-0.0343
4.4	-0.0233
4.5	-0.0244
4.6	-0.0247
4.7	-0.0250
4.8	-0.0243
4.9	-0.0242

Из проделанной работы можно сделать выводы о том, что наиболее энергетически выгодным положением сорбированной молекулы водорода является ее вертикальное размещение над атомом азота (положение 3.3, рис. 3). В остальных случаях, когда молекула водорода находится в других центрах сорбции (над атомом бора, над связью, над центром шестиугольника), наиболее выгодным так же является вертикальное размещение молекулы. Кроме того, выявлено, что так как разница в энергии вандерваальсового взаимодействия среди различных вертикальных положений моле-

кулы водорода незначительна (не превышает 0.0043 эВ), на поверхности h-BN может происходить миграция молекулы водорода от одного локального минимума к другому.

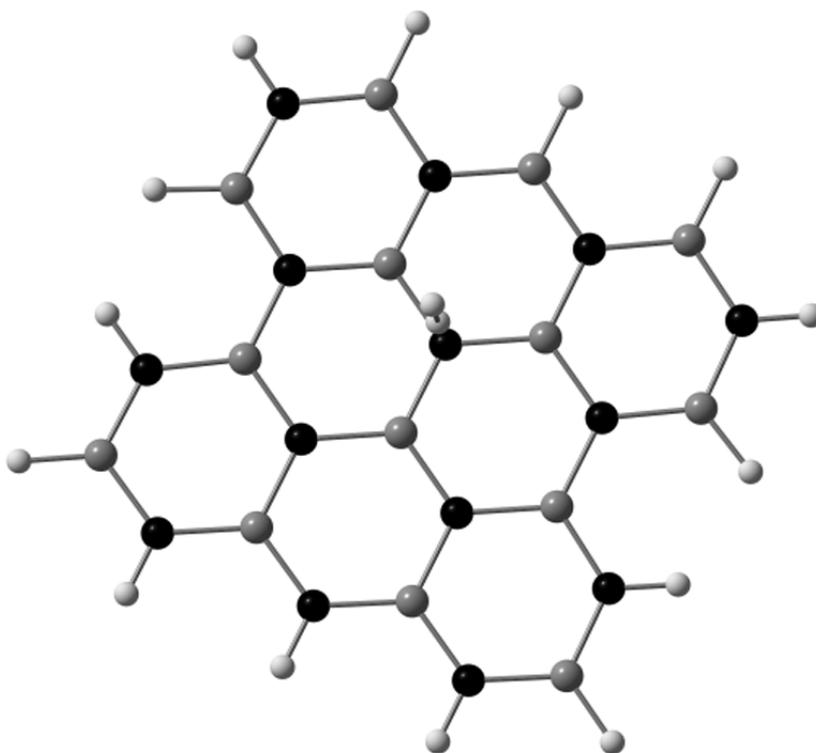


Рис. 3. Наиболее выгодное положение молекулы водорода

УДК 544.228

ФЕРРОСФЕРЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЗОЛ – КАТАЛИЗАТОРЫ ОКИСЛИТЕЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Е.И. Осетров

Научный руководитель О.А. Баюков

Сибирский федеральный университет

Природный газ – метан, сопутствующий нефтедобыче, обычно сжигается. Утилизация этого газа – задача государственной важности. Перспективный вариант утилизации – производство этилена, одного из основных продуктов органического синтеза. Этилен является продуктом реакции окислительной конденсации метана, которая достигается при наличии эффективного катализатора. Предварительные исследования тестовых образцов показали, что микросферы энергетических зол представляются пер-

спективными объектами для разработки катализаторов. Исследованию фазового состава ферросфер, состоянию железа и выяснению природы активных центров с помощью мессбауэровской спектроскопии посвящена эта работа.

Ферросферы энергетических зол. Ферросферы – это компоненты летучих зол – продуктов сжигания углей на тепловых электростанциях. Для исследования были отобраны 19 фракций зол углей различных месторождений: Экибастузского (серия Е, содержание 25.4-49.9 вес.% Fe), Новокузнецкого (серия Р, 26.2-46.5 вес.% Fe), Тунгуйского (серия В, 53.4-55.4 вес.% Fe), Березовского (серия S, 59.6-64.8 вес.% Fe). Для выделения узких фракций ферросфер использовали технологическую схему, включающую первичную «сухую» магнитную сепарацию золы и последующую гранулометрическую классификацию концентрата. В результате такого разделения удалось получить и классифицировать по содержанию железа узкие фракции ферросфер.

На рис. 1 представлена зависимость скорости образования C_2H_6 , CO и CO_2 при температуре $750\text{ }^\circ\text{C}$ от содержания железа в сферах. Приведенные данные показывают, что скорость образования CO имеет низкие значения и незначительно увеличивается с ростом содержания Fe. В отличие от этого скорость окислительной димеризации метана (ОДМ) резко увеличивается и достигает своих максимальных значений для фракций с содержанием железа 63 вес.%. В то же время скорость глубокого окисления резко возрастает, достигая своих максимальных значений для ферросфер с содержанием железа 55 вес.%, а затем резко падает.

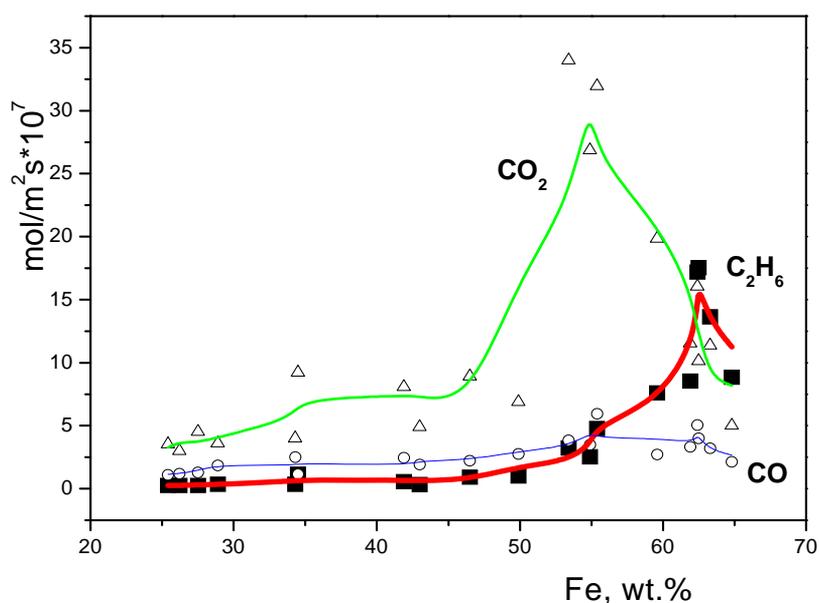


Рис. 1. Зависимость скоростей образования CO , CO_2 и C_2H_6 от содержания железа в ферросферах ($T = 750\text{ }^\circ\text{C}$)

Мессбауэровские измерения ферросфер проведены при комнатной температуре на спектрометре МС-1104Ем с источником $\text{Co}^{57}(\text{Cr})$. В качестве примера на рис. 2 показаны мессбауэровские спектры фракций $(-0.1+0.063)$ для всех четырех серий до и после катализа. Результат расшифровки спектра для фракции $S_{-0.1+0.063}$ проведен в табл. 1 до и после катализа.

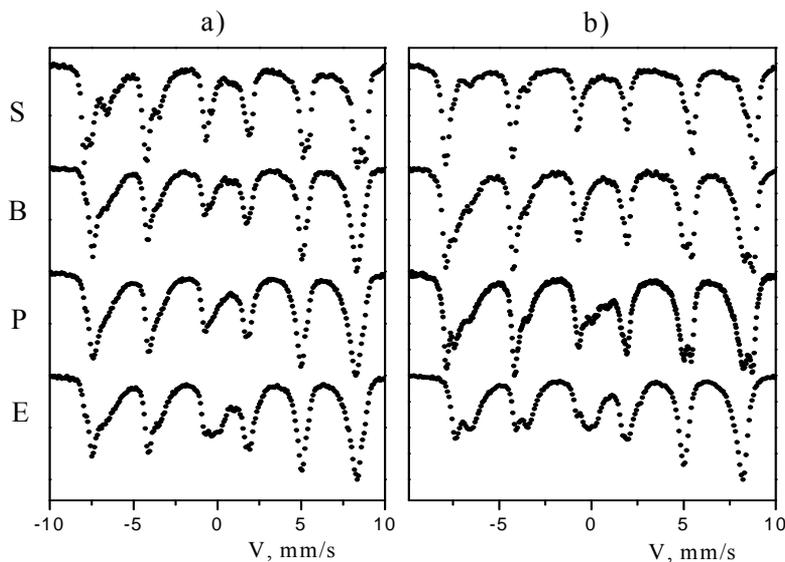


Рис. 2. Мессбауэровские спектры фракций $(-0.1+0.063)$ серий E, P, B и S ферросфер до (a) и после (b) катализа

В ферросферах обнаруживаются три основные железосодержащие фазы: гематит, магнетит и алюмосиликатное стекло. Гематит идентифицируется по характерным для секстета параметрам ($IS \sim 0.38$ мм/с, $H \sim 515$ кЭ и $QS \sim -0.38$ мм/с). Магнетит – по наличию железа смешанной валентности ($\text{Fe}^{2.5+}$). Парамагнитные части спектра приписываем железу, находящемуся в алюмосиликатном стекле. Относительные заселенности этих фаз в зависимости от содержания железа в ферросферах показаны на рис. 3. При катализе часть шпинельной фазы окисляется до гематита.

В спектре магнетита обычно наблюдаются два секстета, один обусловлен катионами трехвалентного железа $\text{Fe}^{3+}(\text{A}+\text{B})$, занимающими тетраэдрические и октаэдрические позиции. Спектры позиций $\text{Fe}^{3+}(\text{A})$ и $\text{Fe}^{3+}(\text{B})$ оказываются неразрешенными. Второй секстет обусловлен катионами $\text{Fe}^{2.5+}(\text{B})$, занимающими октаэдрические позиции. Параметры этих позиций $IS=0.3$ мм/с и $H=490$ кЭ для $\text{Fe}^{3+}(\text{A}+\text{B})$, $IS=0.66$ мм/с и $H=460$ кЭ для $\text{Fe}^{2.5+}(\text{B})$. В исследованных микросферах обнаруживаются дополнительные позиции, которые обозначаем как Fe^{v3+} , $\text{Fe}^{v2.5+}$ и Fe^{vv3+} . Позиции Fe^{v3+} имеют характеристические параметры $IS=0.30-0.40$ мм/с, $H=460-470$ кЭ до катализа и $IS=0.56$ мм/с, $H=460-480$ кЭ после катализа. Позиции $\text{Fe}^{v2.5+}$ имеют характеристические параметры $IS=0.55-0.64$ мм/с, $H=400-$

420 кЭ. После катализа параметры этих позиций практически не изменяются в низко-железистых микросферах. В высокожелезистых микросферах после катализа часть этих позиций может переходить в позиции Fe^{vv3+} . Позиции Fe^{vv3+} имеют характеристические параметры $IS=0.40-0.54$ мм/с, $H=380$ кЭ.

Таблица 1. Мессбауэровские параметры для фракций $S_{-0.1+0.063}$ ферросфер

До катализа					Позиция	После катализа				
IS, мм/с	H, кЭ	QS, мм/с	W_{34-16} , мм/с	A, дол. %		IS, мм/с	H, кЭ	QS, мм/с	W_{34-16} , мм/с	A, дол. %
0.371	519	-0.32	0.31	0.216	$\alpha-Fe_2O_3$	0.379	518	-0.30	0.38-0.39	0.501
0.321	495	-0.05	0.59	0.358	$Fe^{3+}(A+B)$	0.293	497	0	0.55	0.170
0.548	470	0	0.37	0.045	Fe^{v3+}	-	-	-	-	-
0.680	457	-0.05	0.43	0.145	$Fe^{2.5+}$	0.678	460	-0.11	0.53	0.109
0.477	415	0.43	1.14	0.192	Fe^{vv3+}	0.363	409	0.67	1.30-1.45	0.136
0.433	-	-	1.84	0.045	PM(Fe^{3+})	0.156	-	-	2.84	0.085

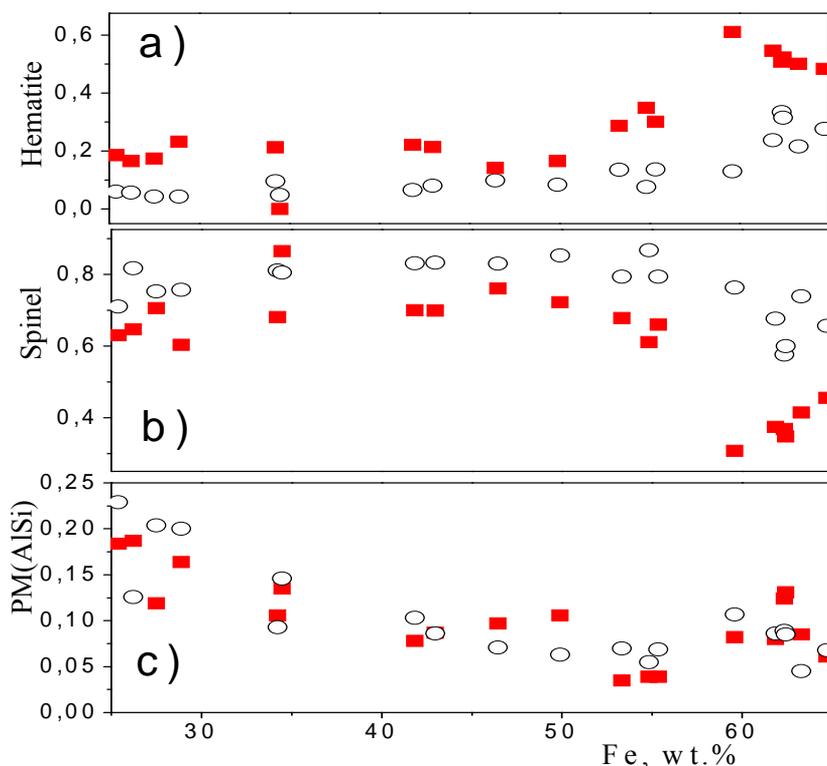


Рис. 3. Зависимость относительной заселенности различных железосодержащих фаз от общего содержания железа в ферросферах до (кружки) и после (квадраты) катализа. Фаза гематита (а), шпинельная фаза (б), и парамагнитная фаза (с)

Для низкожелезистых ферросфер вплоть до 55 вес.% Fe состояние железа в позициях шпинельной фазы заметно не изменяется. В высокожелезистых ферросферах возникают позиции $\text{Fe}^{\text{vv}3+}$, количество которых увеличивается после катализа за счет позиций $\text{Fe}^{\text{v}3+}$. Ясно, что дополнительные позиции $\text{Fe}^{\text{v}3+}$, $\text{Fe}^{\text{v}2.5+}$ и $\text{Fe}^{\text{vv}3+}$ возникают из-за дефектности магнетита. Дефектность может возникать за счет замещения катионов железа иными катионами, катионными и анионными вакансиями и сопутствующими искажениями решетки шпинели. Заселенность различных позиций железа в зависимости от общего содержания железа в ферросферах показана на рис. 4.

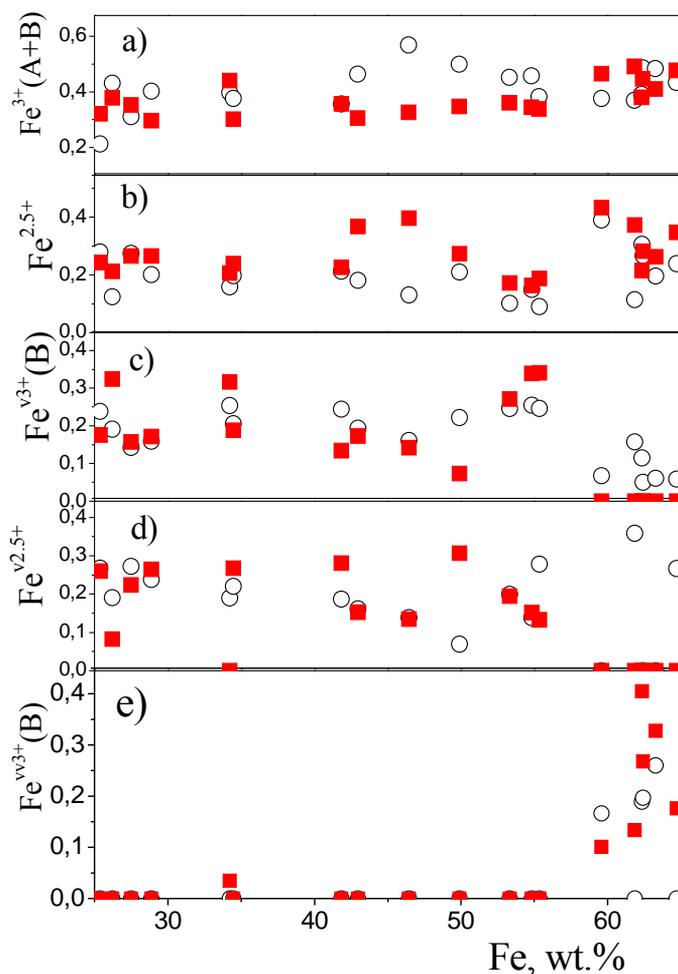


Рис.4. Зависимость заселенностей различных позиций шпинельной фазы от общего содержания железа в ферросферах

В стехиометричном магнетите отношение заселенностей позиций $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2.5+}$ при комнатной температуре равно 0.5. В шпинельной фазе исследуемых ферросфер это отношение значительно больше и составляет 1 – 1.2. По сути, шпинельная фаза – твердый раствор $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-}\gamma\text{Fe}_2\text{O}_3$. Поскольку формула маггемита представляется как $(\text{Fe}^{3+})[\text{Fe}_{5/3}^{3+} \text{ } 1/3]\text{O}_4$, основным де-

фектом выступает катионная вакансия, которая появляется в октаэдрической подрешетке. Легко предположить, что октаэдрические позиции Fe^{v3+} и $\text{Fe}^{v2.5+}$ возникают за счет приобретения среди соседей катионной вакансии. Уменьшение сверхтонкого поля по сравнению со стехиометричным магнетитом $490 \text{ кЭ}(\text{Fe}^{3+}) \rightarrow 460\text{-}470 \text{ кЭ}(\text{Fe}^{v3+})$ связано с уменьшением числа косвенных магнитных связей, в результате которого уменьшается спиновая плотность на ядре железа. Возрастание химсдвига для этой позиции вызвано локальным расширением и искажением решетки возле узла, имеющего соседом катионную вакансию. В результате этого уменьшается зарядовая плотность на ядре железа. Уменьшение сверхтонкого поля для позиции $\text{Fe}^{v2.5+}$ по сравнению со стехиометричным магнетитом $460 \text{ кЭ}(\text{Fe}^{2.5+}) \rightarrow 400\text{-}420 \text{ кЭ}(\text{Fe}^{v2.5+})$ также связано с уменьшением числа косвенных магнитных связей. Уменьшение химсдвига может быть связано с частичной локализацией электрона в быстром обмене пары $\text{Fe}^{3+} \leftrightarrow \text{Fe}^{2+}$.

Позиции Fe^{vv3+} обнаруживаются только в высоко-железистых ферросферах серии S. Количество этих позиций возрастает после катализа при одновременном исчезновении Fe^{v3+} и $\text{Fe}^{v2.5+}$. Отсюда предполагаем, что позиции Fe^{vv3+} имеют среди соседей две катионные вакансии. Окислительная среда провоцирует процесс $\text{Fe}^{v2.5+} \rightarrow \text{Fe}^{v3+}$. Условие локальной зарядовой нейтральности в решетке требует или введения дополнительного кислорода, или катионной вакансии в окрестности данного катиона, которая будет дополнительной к уже существующей вакансии. Возникает позиция Fe^{vv3+} .

Наблюдается хорошая корреляция между зависимостями содержания позиций Fe^{vv3+} , имеющих среди соседей две катионные вакансии (рис. 4, е), и скорости образования этана C_2H_6 , (рис. 1) от общего содержания железа в ферросферах. Возможно, эти позиции или их окружение выступают активными центрами, поддерживающими реакцию ОДМ.

Реакции ОДМ проходят в среде, содержащей O_2 , CO , CO_2 , H_2 , H_2O , C_2H_4 , C_2H_6 , т. е там, где может проходить ряд параллельно-последовательных реакций. Из зависимостей (рис. 1) видно, что для низкожелезистых сфер с содержанием Fe до 40 вес.% не происходит реакций окисления метана. Видимо, здесь алюмосиликатное стекло выступает защитной оболочкой, препятствующей контакту среды с кристаллами магнетита. При уменьшении содержания стеклофазы происходит постепенное освобождение кристаллитов магнетита, которые благоприятствуют реакциям глубокого окисления метана. Происходит нарастание скорости образования CO_2 . Вплоть до содержания железа в сферах 55 вес.% нет выхода продукта C_2H_6 , поскольку нет активных центров Fe^{vv3+} , что видно на рис. 4, е. При появлении позиций Fe^{vv3+} , которые формируются в высокожелезистых сферах серии S, начинают поддерживаться реакции ОДМ при сопутствующем подавлении реакций глубокого окисления. В связи с этим зависимость выхода CO_2 проходит через максимум.

Что же выступает активным центром в этих шпинелях при реакциях конденсации метана? Известно, что им может выступать электрон-дефицитный анион кислорода [O], связанный с решеткой катализатора и способный отрывать водород от молекулы метана. Рассмотрим, не может ли возникать процесс образования [O] в катион-дефицитной шпинели?

При образовании химической связи в решетке кристалла свободные атомы металла передают валентные электроны, чтобы заполнить 2p-оболочку свободного атома кислорода $Fe^{2+}(3d^6) 2e \rightarrow O^{2-}(2p^6)$. При возникновении катионной вакансии среди соседей аниона ближайший катион вынужден отдавать кислороду дополнительный электрон, чтобы заполнить 2p-оболочку $Fe^{v3+}(3d^5) 3e \rightarrow O^{2-}(2p^6)$, в результате чего появляется позиция Fe^{v3+} , которая наблюдается в мессбауэровских спектрах. При возникновении двух катионных вакансий среди соседей $Fe^{vv3+}(3d^5) 3e \rightarrow O^{1-}(2p^5)$ кислород уже не может восполнить дефицит электронов, так как решетке выгоднее иметь O^{1-} , чем Fe^{4+} , в результате образуется позиция Fe^{vv3+} , обнаруживаемая мессбауэровской методикой. Вот эту кислородную позицию $O^{1-} \equiv [O]$ можно рассматривать как активный центр разрушения CH_4 , т.е. позиции Fe^{v3+} выступают спутниками этих центров.

Заключение

Итак, ферросферы энергетических зол содержат три основные фазы: алюмосиликатное стекло, гематит и шпинель. Относительное их содержание зависит от общего содержания железа в ферросферах. Железо в стекле монотонно уменьшается при увеличении общего содержания железа в ферросферах и не зависит от катализа. Содержание фазы гематита монотонно возрастает с возрастанием железа в ферросферах. При катализе содержание фазы гематита возрастает за счет распада фазы шпинели.

Фаза шпинели представляет собой дефектный магнетит. Основным дефектом в ней выступают катионные вакансии в октаэдрической подрешетке. Фаза шпинели низко-железистых ферросфер разбавлена диамагнитными катионами Al и Mg. В фазе шпинели высокожелезистых микросфер серии S обнаружены позиции железа, имеющие две катионные вакансии среди ближайших соседей. Эти позиции выступают как спутники активных центров при реакциях конденсации метана. После катализа позиции, имеющие среди соседей по одной вакансии, преобразуются в позиции с двумя соседними вакансиями. Это явление можно рассматривать как эффект «притяжения» вакансий. В процессе катализа число активных центров возрастает. Поскольку особые позиции появляются лишь в единственной серии S ферросфер, возникает вопрос, с чем связано происхождение этих позиций: с особым составом или с условиями сжигания Березовских углей. Этот вопрос требует дополнительного исследования.

ВОПРОСЫ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

ББК 32.965

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИРТУАЛЬНЫХ СИМУЛЯТОРОВ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МОДЕЛЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

В.С. Красовский
Научный руководитель **В.В. Дубич**
Сибирский федеральный университет

В работе представлены примеры использования виртуальных симуляторов Powder toy и «Algodoo» для разработки моделей физических процессов.

Powder toy – виртуальный симулятор физических и химических процессов, его название можно перевести как «Игра с порошками». Симулятор позволяет производить генерацию физических процессов взаимодействия веществ разной природы и наблюдать отображение этих процессов в доступном для понимания графическом виде. Панели Powder toy содержат следующие элементы:

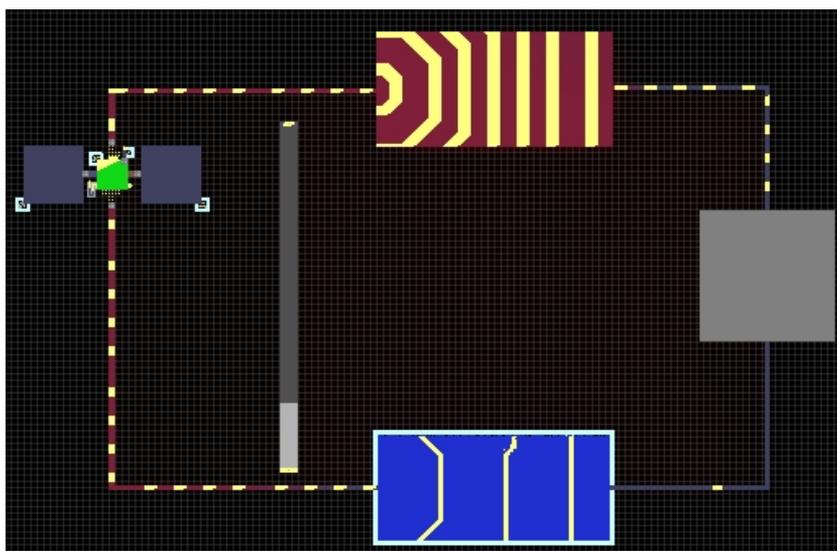
- виртуальные стенки, в том числе неразрушаемые;
- элементы для создания электрических цепей, в том числе полупроводники;
- набор взрывчатых веществ;
- набор газов, в том числе и теоретических;
- набор жидких, сыпучих и твердых веществ различной природы;
- радиоактивные изотопы и вещества;
- раздел SPECIAL с некоторыми необходимыми инструментами.

«Powder toy» позволяет довольно подробно рассмотреть основные физические закономерности и процессы, а возможность многократно повторять и смотреть на происходящее с помощью разных камер – не упустить из виду мелкие детали.

Демонстрационный опыт по сравнению свойств различных проводников, а именно их способности проводить электрический ток.

Из рис. видно, что металл проводить электрический ток лучше воды. Смоделирован условный источник тока с выключателем (на рисунке сле-

ва). В качестве проводящего элемента был выбран металл (условное обозначение METL), также из этого же материала был выполнен один из условных резисторов (на рисунке – верхний прямоугольник). Внизу системы была смоделирована условная емкость из алмаза (условное обозначение DMND). В эту емкость была помещена вода (условное обозначение WATR). Система замкнута и заземлена. После этого был активирован источник тока с помощью инструмента «заряд» (условное обозначение SPRK). Далее наблюдаем, что металл проводит электрический ток интенсивнее, чем вода.

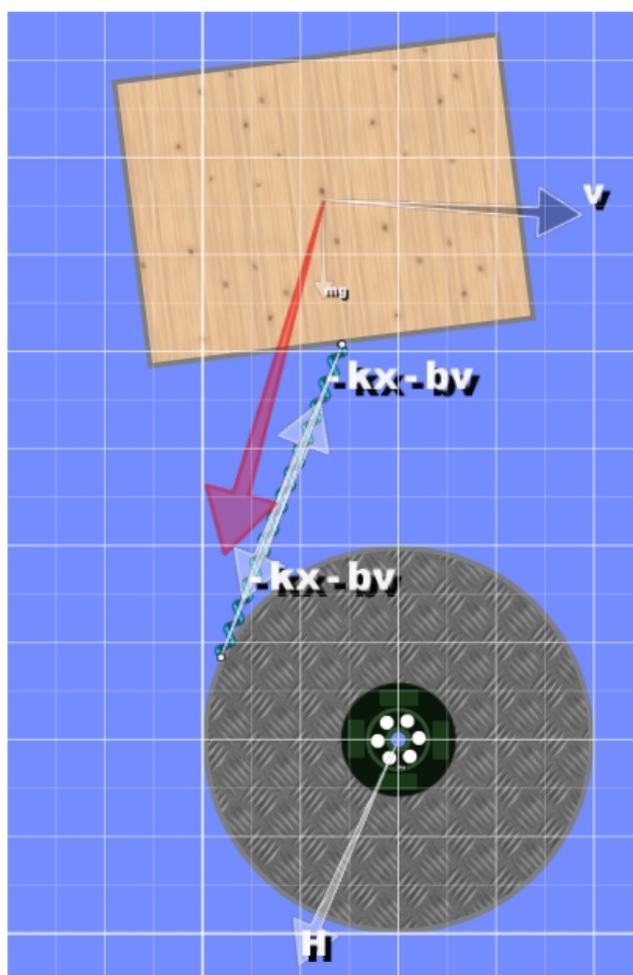


*Рис. 1. Демонстрационный опыт по сравнению способности различных проводников проводить электрический ток
Верхний прямоугольник – металл, нижний прямоугольник – вода*

Algodoo – виртуальный симулятор классической физики, двумерный 2D. Используется доступный видеоускоритель для отображения двумерных полигональных фигур. Этот симулятор позволяет проводить различные манипуляции с геометрическими фигурами. В отличие от «Powder toy» он не симулирует процессы горения и т.п., а только взаимодействие моделей (объектов) в пространстве. «Algodoo» позволяет реализовывать простейшие механические системы в разных параметрических средах. Свойства среды нужно задавать вручную. Отображение физических сил стрелками позволяет увидеть направление их действия.

Демонстрационный пример вращательного движения. В пространстве инструментом «круг» был нарисован круг, с помощью меню свойств ему были присвоены свойства металла. Далее инструментом «прямоугольник» был нарисован прямоугольник, и ему были присвоены свойства дерева. В середину круга был помещен шарнир. Инструмент «шарнир» по умолчанию закрепляет объект относительно пространства, в котором он

находится, т. е. в воздухе. Потом круг и прямоугольник были соединены пружиной при помощи инструмента «пружина», и ей были присвоены параметры жесткости. Далее была активирована дополнительная функция шарнира – мотор, которая заставляет шарнир вращаться вместе с закрепленным объектом. Мотору были заданы параметры силы и скорости вращения, достаточные для приведения системы в действие. Далее наблюдаем вращательное движение прямоугольника относительно круга.



*Рис. 2. Демонстрационный пример вращательного движения.
Вокруг своей оси вращается металлический диск,
к которому с помощью пружины прикреплен прямоугольный предмет*

Использование симуляторов физики в учебном процессе актуально, так как часто лекционные занятия изобилуют теоретическими сведениями. Виртуальные симуляторы способны обеспечить студенту необходимую среду для проверки основных физических закономерностей. Также эти виртуальные лаборатории позволяют не только выполнять поставленные учебные задачи, но и реализовать некоторый творческий потенциал путем импровизации и произвольного исследования.

ЧЕРНАЯ ДЫРА

Е.Е. Косоков

Научный руководитель О.А. Золотов

Сибирский федеральный университет

Черная дыра – область в пространстве-времени, гравитационное притяжение которой настолько велико, что покинуть ее не могут даже объекты, движущиеся со скоростью света.

В свое время еще Мичелл и Лаплас предположили, что в природе могут существовать тела, у которых скорость, необходимая для преодоления гравитационного притяжения, превышает скорость света. Поэтому такие тела будут темными, невидимыми для наблюдателя, хотя и могут проявлять себя гравитационным воздействием на другие объекты. С помощью закона сохранения энергии можно легко получить выражения для гравитационного радиуса – расстояния, на котором скорость тела, падающего из бесконечности с нулевой начальной скоростью, становится равной скорости света:

$$R_g = \frac{2 * G * M}{c^2},$$

где R_g – гравитационный радиус, G – гравитационная постоянная, c – скорость света и M – масса тела.

Недостатки идеи Мичелла: при скоростях, близких к скорости света, формула для кинетической энергии будет отличаться от классического случая. Формула для потенциальной энергии в сильных гравитационных полях тоже меняет свой вид. Да и отношение к свету как к потоку маленьких пушечных ядер неправомерно. В частности, скорость света, как известно, константа и не может, стремиться к нулю.

Решение Шварцшильда. Согласно теореме Биркхофа, гравитационное поле любого сферически симметричного распределения материи вне ее дается решением Шварцшильда. Черная дыра имеет горизонт событий и сингулярность, которая отделена горизонтом событий от остальной Вселенной. Решение Шварцшильда – это сферически симметричное решение уравнений Эйнштейна в вакууме, и:

$$R_s = \frac{2 * G * M}{c^2}.$$

Средняя плотность материи черной дыры:

$$\rho = \frac{3 * c^6}{32 * \pi * M^2 * G^3}.$$

Решение Райсснера – Нордстрема. Статичное решение уравнений Эйнштейна для сферически симметричной черной дыры с зарядом, но без вращения:

$$R_Q^2 = \frac{Q^2 * G}{4 * \pi * \epsilon_0 * c^4}.$$

Интересен тот факт, что существует максимальный заряд черной дыры:

$$Q_{max} = \frac{10^{40} * e * M}{M_{\odot}},$$

где M_{\odot} – масса Солнца.

Решение Керра. Это решение для вращающейся незаряженной черной дыры. Чёрная дыра Керра обладает рядом замечательных свойств. Вокруг горизонта событий существует область, называемая эргосферой, внутри которой телам невозможно покоиться относительно удалённых наблюдателей. Они могут только вращаться вокруг чёрной дыры по направлению её вращения. Параметры чёрной дыры не могут быть произвольными. При $J_{max} = M^2$ метрика называется предельным решением Керра. Это частный случай ограничения Керра – Ньюмена для черной дыры с нулевым зарядом.

Решение Керра – Ньюмена. Общее решение, соответствующее конечному состоянию равновесия черной дыры:

$$R_+ = M + \sqrt{M^2 - Q^2 - a^2}, \text{ где } a = \frac{J}{M}.$$

Ограничение: $a^2 + Q^2 \ll M^2$.

Вокруг горизонта событий вращающейся черной дыры также существует эргосфера.

Излучение Хокинга. Гравитационное поле поляризует вакуум, в результате чего возможно образование не только виртуальных, но и реальных пар частица-античастица. Одна из частиц, оказавшаяся чуть ниже горизонта событий, падает внутрь чёрной дыры, а другая, оказавшаяся чуть выше горизонта, улетает, унося энергию (то есть часть массы) чёрной дыры.

Мощность излучения черной дыры

$$L = \frac{\hbar * c^6}{15360 * \pi * G^2 * M^2}.$$

Спектр хокинговского излучения оказался строго совпадающим с излучением абсолютно черного тела, что позволило приписать чёрной дыре температуру

$$T_H = \frac{\hbar * c^3}{8 * \pi * k * G * M}$$

Энтропия черной дыры

$$S = \frac{A * k * c^3}{4 * \hbar * G}$$

где A – площадь горизонта событий.

За счёт испарения все чёрные дыры теряют массу и время их жизни оказывается конечным:

$$\tau = \frac{5120 * \pi * G^2 * M^3}{\hbar * c^4}$$

УДК 573.2:575.8

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ КАК ПРИМЕР РЕАЛИЗАЦИИ КОМПЛЕКСА ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХ ДИСЦИПЛИН

С.В. Трифонов

Научный руководитель А.А. Тихомиров

Сибирский федеральный университет

В настоящее время многие научные открытия и передовые технологические разработки делаются на стыке нескольких естественнонаучных дисциплин. Ярким примером научно-технических разработок с привлечением целого комплекса естественнонаучных дисциплин является создание искусственных экосистем, включающая человека. Известно, что искусственная экосистема включает в себя процессы биологического обмена веществ, трансформации и распределения потоков энергии, обеспечивающих устойчивое самоподдержание и саморегуляцию системы. При этом специфика этих процессов должна иметь такую качественную и количественную направленность, чтобы обеспечить длительное (в пределе сколь угодно долгое) пребывание в ней человека. Это требование может быть реализовано только за счет использования в создании системы в первую очередь знаний различных биологических, химических, медицинских и физических дисциплин. Особая роль в таких системах

отводится реализации процессам управления. Известно, что искусственная экосистема с заданными человеком свойствами не может быть самоподдерживающейся по стохастическому принципу, действующему в биосфере. Поэтому здесь возникает необходимость создания технической системы управления как неотъемлемой части искусственной замкнутой биологической системы. В связи с этим такие системы часто называют биолого-техническими системами. Отсюда видно, что создание искусственных экосистем помимо фундаментальных естественных дисциплин требует знаний большого комплекса прикладных технических наук. В частности, можно отметить, что для создания искусственного света для роста растений в системе необходимы знания по светотехнике, технической физике, расчеты инженерных конструкций требуют знаний сопромата и т. д.

Автоматизация систем контроля и управления процессами требует знания современных информационных систем, компьютерных технологий. Существует точка зрения, что создание замкнутых искусственных экосистем является неким прообразом модели будущей ноосферы, то есть сферы жизни на Земле, управляемой разумом человека с целью сохранения биосферы в состоянии, пригодном для его жизни в ней. Известно, что проблема перехода человечества к ноосфере тесно связана с проблемой устойчивого развития цивилизации, когда должны быть найдены пути гармоничного взаимодействия человека и природы. Очевидно, что для поиска решения этой проблемы невозможно ставить эксперименты ни над отдельными природными экосистемами, ни тем более со всей биосферой. В этой связи искусственные экосистемы являются уникальным инструментом для выполнения таких исследований. Это указывает на то, что знания, полученные при исследовании закономерностей поведения искусственных экосистем, могут быть полезны для развития ряда разделов современной экологии, изучающей возможности оптимизации взаимоотношений человека и природы. Проблемы поддержания определенных массообменных процессов в искусственных экосистемах (включая человека), связаны с комплексным использованием не только отдельных естественнонаучных дисциплин, но и биофизики, биохимии, радиоэкологии и др. Более того, длительное успешное функционирование искусственных экосистем с человеком должно отражать взаимопроникновение естественнонаучных и гуманитарных дисциплин, что в современном понимании формулируется как процесс гуманизации естествознания.

Таким образом, создание и функционирование искусственных экосистем с человеком достаточно полно может быть реализовано только с привлечением широкого спектра естественнонаучных дисциплин, включая комплексные естественнонаучные дисциплины, а по ряду вопросов, описывающих взаимодействие людей в системе между собой и с биологическими и техническими компонентами системы, должны привлекаться гуманитарные науки в тесной связи с естественнонаучными дисциплинами.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ

УДК 664

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ КРИОГЕННЫХ И СВЧ-ТЕХНОЛОГИЙ

А.И. Высотин, А.В. Ермолин
Научный руководитель П.В. Миронов

«Через двадцать лет люди перестанут умирать естественной смертью» – сделал такое заявление генетик Обри ди Грей (Aubrey de Grey) из университета Кембриджа (University of Cambridge). Он полагает, что средняя продолжительность жизни людей (в развитых богатых странах, очевидно) очень скоро вырастет до тысячи и более лет. Его взгляды разделяет, как минимум, большая группа учёных, работающих в проекте "Стратегия для проектируемого незначительного старения" (Strategies for Engineered Negligible Senescence – SENS), который и возглавляет ди Грей под крышей Кембриджа.

Старение – физическое явление. По мнению ди Грея, цивилизация близка к этому, благодаря проекту SENS. Его цель – собрать в одном месте, систематизировать, проанализировать и развить все мыслимые технологии и знания, которые только могут пригодиться в борьбе со старостью и естественной смертью.

Есть семь главных типов молекулярных и клеточных повреждений, которые негативно сказываются на нашем состоянии, включая клетки, потерянные без замены на новые, или мутации в хромосомах. Каждая из этих вещей потенциально "перекрывается" технологией, которая или уже существует или находится в активном развитии. На каждый негативный процесс, происходящий на молекулярном уровне, авторы проекта SENS имеют если не готовое решение, то идею.

Вот один пример.

Митохондрии – энергетические фабрики клеток. Единственная часть клетки (кроме самого ядра), имеющая собственную ДНК. Как и другие клеточные механизмы, органоиды, митохондрии могут "хандрить" – неправильно работать или выключаться из-за генетических мутаций или повреждений.

Свой взгляд на проблему представил Джей Ольшански (S Jay Olshansky), профессор университета Иллинойса в Чикаго. "Что общего между всеми древними поставщиками физического бессмертия? – рассуждает Ольшански. – Они все мертвы".

Ольшански приводит массу примеров поисков бессмертия мыслителями древности. На этой ниве отметились греческий врач Гален (II в. н. э.), китайский философ Ко Хуан (IV в. н. э.), арабский философ и врач Авиценна, знаменитый Роджер Бэкон (XIII век), основатель строго научного подхода в исследовании природы.

Все они опирались на достижения своей эпохи и в большинстве случаев на вопрос: "когда же будет найден рецепт бессмертия?", отвечали, что "лет через 10 – точно". Ольшански пришёл к выводу, что этот временной параметр "через 10 лет" - не меняется на протяжении столетий.

Анализ причин долголетия биологических систем, растений, животных и людей даёт следующие результаты: увеличение времени существования биологических систем происходит при уменьшении или полном исключении на них паразитарного воздействия; для функционирования организмов необходимо обеспечить нормальную работу клеток, исключить воздействие внешних факторов – физических, радиаций, излучений, химических и биохимических.

Этим объясняются увеличение среднего прожиточного уровня жизни людей примерно на 30-40 лет при использовании огня для приготовления пищи, снизилась паразитарная нагрузка. Тепловая обработка ослабляет водородные связи белков, липидов, ткани пищи. Организму легче становится получать из пищи полезные компоненты, повышается коэффициент полезного действия всей пищеварительной системы. По статистике, люди и народы с высоким уровнем общей культуры отличаются более высоким уровнем и качеством проживания.

Во всех видах воздействия на биосистемы разрушение происходит на клеточном уровне. Клетки наравне с митохондриями имеют собственные ДНК и до определённого уровня они могут самовосстанавливаться. Для того чтобы навредить работе клетки и митохондриям нужно преодолеть их внешние двойные барьеры-мембраны – деформировать или сломать. Нарушение мембран приводит к гибели клетки. Проникновение через мембраны свойственно вирусам. Паролем для проникновения в клетку является определение pH – состояния в ней. Если клетке необходимы субстанции для получения энергии, клетка «голодна», её состояние pH на сотые доли меньше 7,0 и за счет разницы электрического состояния слоёв мембраны она приоткроется. Мембраны состоят из ряда белков сшитых как нитками с помощью долихолов у животных клеток и пренолов у растительной клетки. Долихолы и пренолы отличаются друг от друга количеством повторяющейся углерод водородной цепочки. В нормально функционирующей клетке её оболочка имеет свойства открыва-

ваться и закрываться в любом месте в зависимости от необходимости, когда происходит процесс потребления или удаления продуктов, не нужных клетке, в межклеточное пространство затем из организма в обменном процессе. Оболочка клеток имеет некоторые степени свободы, что позволяет ей менять объём до определённого уровня.

Организмы человека, животных, растений – многоклеточные, для роста, обеспечения энергетики и обмена веществ проводят технологическую операцию – экстракцию. В организме клетки и митохондриях эта процедура доведена до совершенства.

В данной работе проводил исследования влияния на целостность субстанций в процессе резкого замораживания, измельчения и последующей экстракции. Отличительной особенностью процесса является то, что сырьё не проходит операцию сушка, а проводится заморозка жидким азотом до температуры – 196 °С с последующей операцией измельчения. Для исключения контакта с кислородом воздуха измельчённое после заморозки сырьё заливается раствором экстрагента. Далее проводится экстракция под воздействием СВЧ.

В России, как и в других странах, отмечается устойчивая тенденция повышения интереса к потреблению пищевых продуктов и лечебно-профилактических препаратов из экологически безопасного сырья. Продукты и препараты, изготовленные из растительного сырья, оказывают наибольший терапевтический эффект на организм человека. Они повышают устойчивость к экстремальным ситуациям, нормализуют умственную и физическую работоспособность. Положительные свойства многих растений обусловлены их способностью активировать ферментные системы и усиливать энергетическое обеспечение организма. Связано это с тем, что растительное сырьё служит одним из основных источников биологически активных веществ, которые даже в минимальном количестве оказывают оздоровительное и защитное действие. Растительное биологически активное сырьё повышает питательные и лечебные свойства пищи, а их регулярное потребление снижает отрицательные последствия неблагоприятных факторов как внешней, так и внутренней среды. Одним из уникальных видов живой материи являются хвойные породы деревьев как наиболее распространённый вид. Своей численностью, долголетием они подтвердили высочайшую способность к выживанию в широком климатическом диапазоне, в интервале температур от –70 до +70, при воздействии на них губительной микрофлоры, насекомых, животных и человека. Эти свойства привлекают внимание исследователей многих стран.

Разработка научных основ комплексной переработки возобновляемого природного растительного сырья особенно актуальна для территории Сибири. Одним из этапов комплексной переработки древесины является переработка древесной зелени. Экстракция как технологический приём имеет большой исторический опыт и используется человеком достаточно

давно. На сегодня технология экстракции дошла до «флюидной экстракции», которая позволяет выделять продукты экстракции из сырья ступенями, не приводя к их деструкции. Основными наиболее ценными продуктами из древесной зелени являются полипренолы, токоферолы, ряд терпеновых и тритерпеновых кислот, свойства которых в последние двадцать лет интенсивно изучаются.

Целью данного исследования является разработка технологической схемы комплексной переработки, позволяющей максимально сохранить биологическую ценность всех компонентов исходного сырья. Результаты работы используются при выполнении научных исследований в рамках приоритетного направления «Живые системы» Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2012 годы».

Алгоритмы планирования эксперимента и математико-статистического моделирования, используемый в исследовании, взят из курса лекций математической статистики базовой кафедры СФУ г. Зеленогорска.

В соответствии с поставленной целью определены следующие задачи: разработать способ извлечения компонентов из сырья с наложением электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ); определить влияние технологических параметров на степень извлечения компонентов и провести оптимизацию процесса получения СВЧ-экстракцией растворителями; определить химический состав и свойства полученных продуктов, изучить возможность использования попутных продуктов в качестве потенциального сырья, обладающего биологической активностью и пищевой ценностью.

В начальной стадии работ было получено порядка 1 кг концентрата с содержанием полипренолов 9,2 %, токоферолов 1,4 % (витамин Е), липидов ~87 %.

УДК 004.424.(5)

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СОРТИРОВКИ

С.В. Сотанин

Научный руководитель Н.А. Рыбас
Сибирский федеральный университет

В общем случае сортировку следует понимать как процесс перегруппировки заданного множества объектов в определенном порядке.

В информатике, по-видимому, нет более глубоко исследованных задач, чем задачи сортировки и поиска. Алгоритмы сортировки и поиска чрезвычайно широко распространены практически во всех задачах обработки информации. При этом они настолько тесно связаны друг с другом, что образуют отдельный класс алгоритмов. Действительно, алгоритмы сортировки, как правило, применяются с целью последующего более быстрого поиска. Трудно себе представить, как бы мы пользовались словарями, если бы слова (или словарные статьи) в них не были упорядочены по алфавиту.

Алгоритмы сортировки имеют большое практическое применение. Их можно встретить там, где речь идет об обработке и хранении больших объемов информации. Некоторые задачи обработки данных решаются проще, если данные заранее упорядочить.

Рассмотрение алгоритмов сортировки естественно начать с самых простых, хотя и одновременно самых неэкономичных методов.

Методы сортировки массивов можно разбить на 4 основных класса в зависимости от лежащего в их основе приема:

- 1) сортировка обменом;
- 2) сортировка выбором;
- 3) сортировка включением;
- 4) сортировка слиянием.

На сегодняшний день существует множество различных алгоритмов сортировки. Для оценки эффективности работы того или иного алгоритма используются следующие критерии:

- Скорость работы алгоритма сортировки.
- Время работы в лучшем и худшем случаях.
- Поведение алгоритма сортировки.

Различные сортировки массивов отличаются по быстродействию. Существуют простые методы сортировок, которые требуют порядка n^2 сравнений, где n – количество элементов массива и быстрые сортировки, которые требуют порядка $n \cdot \ln(n)$ сравнений. Простые методы удобны для объяснения принципов сортировок, так как имеют простые и короткие алгоритмы. Усложненные методы требуют меньшего числа операций, но сами операции более сложные, поэтому для небольших массивов простые методы более эффективны.

Самый известный алгоритм – *пузырьковая сортировка*. Его популярность объясняется интересным названием и простотой.

Алгоритм состоит в повторяющихся проходах по сортируемому массиву. За каждый проход элементы последовательно сравниваются попарно и, если порядок в паре неверный, выполняется обмен элементов. Проходы по массиву повторяются до тех пор, пока на очередном проходе окажется, что обмены больше не нужны это означает, – массив отсортирован. В ре-

зультате элемент, стоящий не на своём месте, как бы "всплывает" до нужной позиции.

Но пузырьковая сортировка имеет существенный недостаток: один легкий пузырек, расположенный внизу массива, всплывает на свое место за один проход, а тяжелый пузырек, расположенный наверху, опускается на свое место только на один шаг за один проход.

Сортировка методом выбора. Это наиболее естественный алгоритм упорядочивания. При данной сортировке из массива выбирается элемент с наименьшим значением и обменивается с первым элементом. Затем из оставшихся $n-1$ элементов снова выбирается элемент с наименьшим значением и обменивается со вторым элементом и т. д.

Сортировка включением. При сортировке включением сначала упорядочиваются первые два элемента массива. Затем последовательно делается вставка третьего элемента в соответствующее место по отношению к первым двум элементам, затем вставка четвертого элемента в список из трех элементов и т. д. Этот процесс повторяется до тех пор, пока все элементы не будут упорядочены. Метод выбора очередного элемента из исходного массива произволен, может использоваться практически любой алгоритм выбора.

Сортировка слиянием. Слияние означает объединение двух (или более) последовательностей в однуединственную упорядоченную последовательность с помощью повторяющегося выбора из доступных в данный момент элементов. Слияние намного проще сортировки, и его используют как вспомогательную операцию в более сложных процессах сортировки последовательностей. Одна из сортировок на основе простого слияния называется прямым слиянием. Она выполняется следующим образом:

1. Последовательность a разбивается на две половины b и c .

2. Части b и c сливаются, при этом одиночные элементы образуют упорядоченные пары.

3. Полученная последовательность под именем a вновь обрабатывается, как указано в п. 1 и 2 при этом упорядоченные пары переходят в такие же четвёрки.

4. Повторяя предыдущие шаги, сливаем четвёрки в восьмёрки и т. д., каждый раз удваивая длину слитых последовательностей до тех пор, пока не будет упорядочена вся последовательность.

Все вышеперечисленные сортировки являются сортировками порядка n^2 , что делает их слишком медленными и неэффективными на больших объёмах данных.

Сортировка Шелла. Общий метод, который использует сортировку включением, применяет принцип уменьшения расстояния между сравниваемыми элементами. Сначала сортируются все элементы, смещенные друг от друга на позиции. Затем сортируются все элементы,

которые смещены на две позиции. И, наконец, упорядочиваются все соседние элементы.

Сортировка методом Хоара или быстрая сортировка. Алгоритм быстрой сортировки использует обменный метод сортировки. В его основе принцип разбиения. Сначала выбирается некоторое значение в качестве основы, и затем весь массив разбивается на две части. Одну часть составляют все элементы, равные или большие основы, а другую часть составляют все элементы меньшего значения, по которому делается разбиение. Этот процесс продолжается для оставшихся частей до тех пор, пока весь массив не будет отсортирован.

Быстрая сортировка является наиболее эффективным алгоритмом из всех известных методов сортировки, но все усовершенствованные методы имеют один общий недостаток – невысокую скорость работы при малых значениях n .

Заканчивая обзор методов сортировки, попытаемся сравнить их эффективность. Для всех прямых (простых) методов сортировки можно дать точные аналитические формулы (рис. 1). Столбцы таблицы определяют минимальное, усреднённое и максимальное по всем $n!$ перестановкам из n элементов значения, C – количество сравнений, а M – обменов.

	МИН.	СРЕД.	МАКС.
Метод обмена	$C=(n^2-n)/2$ $M=0$	$C=(n^2-n)/2$ $M=(n^2-n)*0,75$	$C=(n^2-n)/2$ $M=(n^2-n)*1,5$
Метод выбора	$C=(n^2-n)/2$ $M=3*(n-1)$	$C=(n^2-n)/2$ $M=n*(\ln(n)+0,57)$	$C=(n^2-n)/2$ $M=n^2/4+3*(n-1)$
Метод включения	$C=(n-1)$ $M=2*(n-1)$	$C=(n^2+n-2)/4$ $M=(n^2-9n-10)/4$	$C=(n^2-n)/2-1$ $M=(n^2-3n-4)/2$

Рис. 1

Анализ модифицированных сортировок достаточно сложен с математической точки зрения. Можно сказать лишь то, что время выполнения сортировки Шелла пропорционально $n^{1,2}$, для быстрой сортировки число операций сравнения равно $n \cdot \log_2 n$, а число операций обмена равно приблизительно $n \cdot \log_2 n / 6$. Эта зависимость значительно лучше квадратичной зависимости, которой подчиняются рассмотренные ранее алгоритмы сортировки.

Для проверки на практике вышесказанного была написана программа, осуществляющая сортировку массива задаваемой размерности любым из вышеперечисленных методов, а также создающая таблицы эффективности работы каждого метода. На рис. 2 приведена укрупнённая блок-схема моей программы.

В работе на была рассмотрена сортировка методом слияния, так как она коренным образом отличается от трёх других простых сортировок. В

отличие от них, в сортировке слиянием массив сортируется не на месте, а создаётся новый массив по размерности равный исходному, что двукратно увеличивает затраты памяти.



Рис. 2

Результат работы программы, точнее, её части – подпрограммы анализа эффективности сортировок, приведен на (рис. 3).

В заголовках строк цифрами от 1 до 5 обозначены методы сортировки – пузырьковая, выбором, включением, сортировка Шелла и последняя – быстрая сортировка, а в заголовках столбцов указано количество элементов в сортируемых массивах.

Программа осуществляет сортировку массива задаваемой пользователем размерности методами обмена, выбора, включения, Шелла и быстрой сортировкой. Кроме того, она проводит сравнительный анализ всех алгоритмов сортировки для размерности массива 100, 1000 и 10000 элементов.

После запуска программы выводится текстовое меню с вариантами выбора нужного модуля.

При выборе любого пункта от 1 до 5 программа запросит ввод размерности массива и после ввода размерности запустит соответствующую подпрограмму, выполняющую сортировку массива заданной размерности, заполненного случайными числами. После сортировки программа выведет на экран исходный массив, отсортированный массив, а также количество выполненных операций сравнения и обмена.

После этого вновь будет выведено текстовое меню и программа перейдёт в режим ожидания.

Если выбрать пункт 0 – программа запустит подпрограмму анализа эффективности, которая выполнит каждую из пяти сортировок по 10 раз для массива из 100 элементов и вычислит по результатам 10 запусков среднее значение количества обменов и сравнений. Потом программа выполнит то же самое для массива, состоящего из 1000 элементов, а затем для массива, состоящего из 10000 элементов. Из полученных результатов будут составлены 2 таблицы: обменов и сравнений.

После этого программа рассчитает среднее количество обменов и сравнений для всех пяти алгоритмов по формулам. При расчёте будут использованы такие же размерности массивов, какие использовали при практических расчётах (100, 1000, 10000). Все теоретические данные также будут выведены в виде двух таблиц: обменов и сравнений.

По завершении подпрограммы анализа на экран будут выведены четыре таблицы, по которым пользователь сможет проанализировать эффективность каждой из сортировок, т. е. сравнить параметры различных сортировок друг с другом или с теоретическими значениями и сделать выводы о скорости работы каждого из алгоритмов.

Горизонталь: количество элементов в массиве
 Вертикаль: номер сортировки (см. выше)
 Пересечение: среднее количество обменов (сравнений)

Таблицы практических значений

Таблица обменов				Таблица сравнений			
	100	1000	10000		100	1000	10000
1	2483	247539	24711334	1	4950	499500	49995000
2	407	5037	51637	2	4950	499500	49995000
3	2429	244686	24799620	3	2429	244686	24799620
4	405	5950	98497	4	856	13449	213581
5	190	3094	45909	5	621	8519	107678

Таблицы теоретических значений

Таблица обменов				Таблица сравнений			
	100	1000	10000		100	1000	10000
1	7425	749250	74992496	1	4950	499500	49995000
2	518	7485	97876	2	4950	499500	49995000
3	2722	252248	25022498	3	2524	250250	25002500
4	251	3981	63096	4	251	3981	63096
5	77	1151	15351	5	461	6908	92103

Рис.3

Как видно из приведённых таблиц, некоторые практические значения получились несколько отличными от значений теоретических, но это отличие не очень большое, учитывая размер сортируемого массива. Все простые алгоритмы сортировки обладают очень серьёзным недостатком, а именно: время их выполнения пропорционально квадрату числа элементов. Для больших объёмов данных эти сортировки будут медленными, а начиная с некоторой величины размерности массива они будут слишком медленными, чтобы их можно было использовать на практике.

Научное издание

Молодёжь и наука
Том 1

Отв. за выпуск Олег Альбертович Краев

Редакционно-издательский отдел БИК СФУ
Компьютерная верстка И.В. Гревцовой, Е.В. Гревцовой

Подписано в печать 11.07.2011. Формат 60x84/16.

Бумага тип. Печать офсетная.

Усл. печ. 13,8. Тираж 100 экз. Заказ 4221.

Редакционно-издательский отдел
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 79
Тел/факс (391) 244-82-31, e-mail: rio@lan.krasu.ru

Отпечатано полиграфическим центром
Библиотечно-издательского комплекса
Сибирского федерального университета
660041, Красноярск, пр. Свободный, 82а